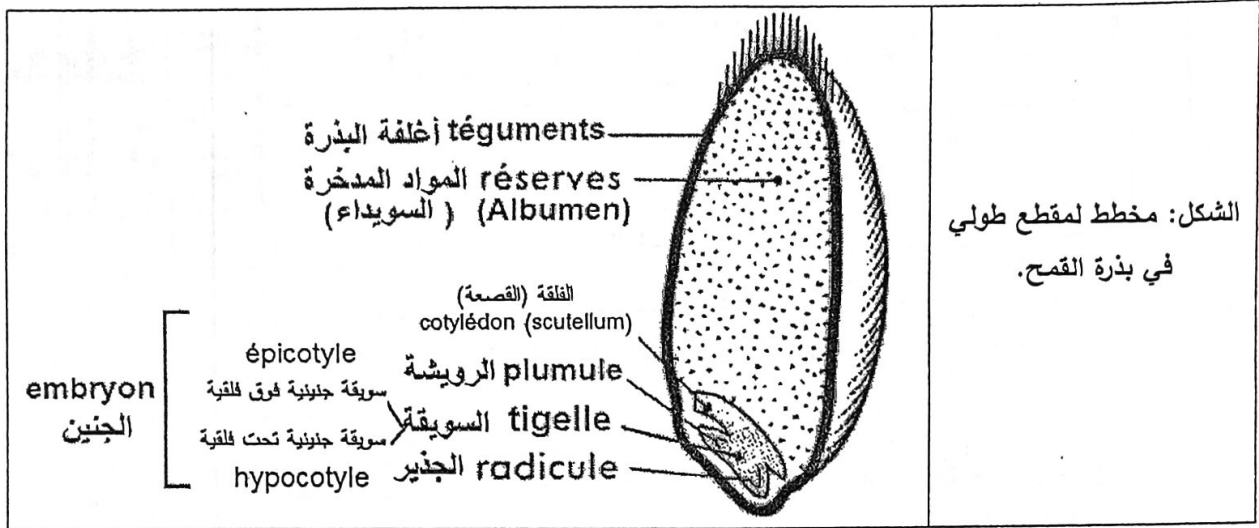


الفصل الأول: إنبات البذور Germination des graines

1- تعريف البذرة:

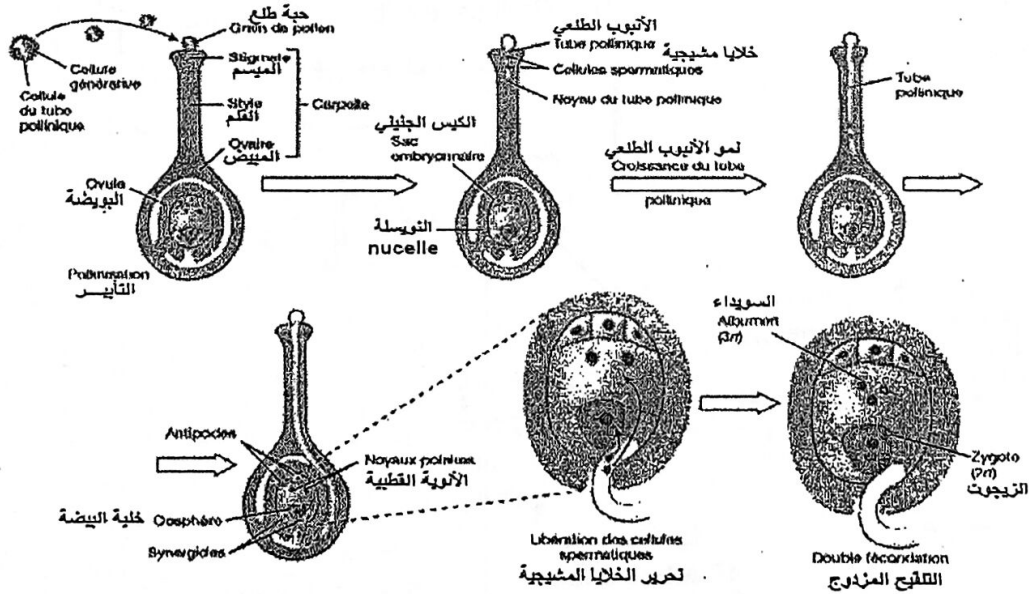
البذور هي وسيلة لتكاثر ولانتشار النباتات البذرية وهي ناتج تطوري للبيضة الملقحة. تتكون البذرة الناضجة من:

- 1- الجنين Embryon, germe, plantule: هي بادرة مشكّلة من جذير Radicule + رويشة Plumule +
- 2- الأغلقة Téguments: تكون صلبة ولها دور في الحماية؛
- 3- المركبات الادخارية Substances de réserves، تحيط بالجنين.

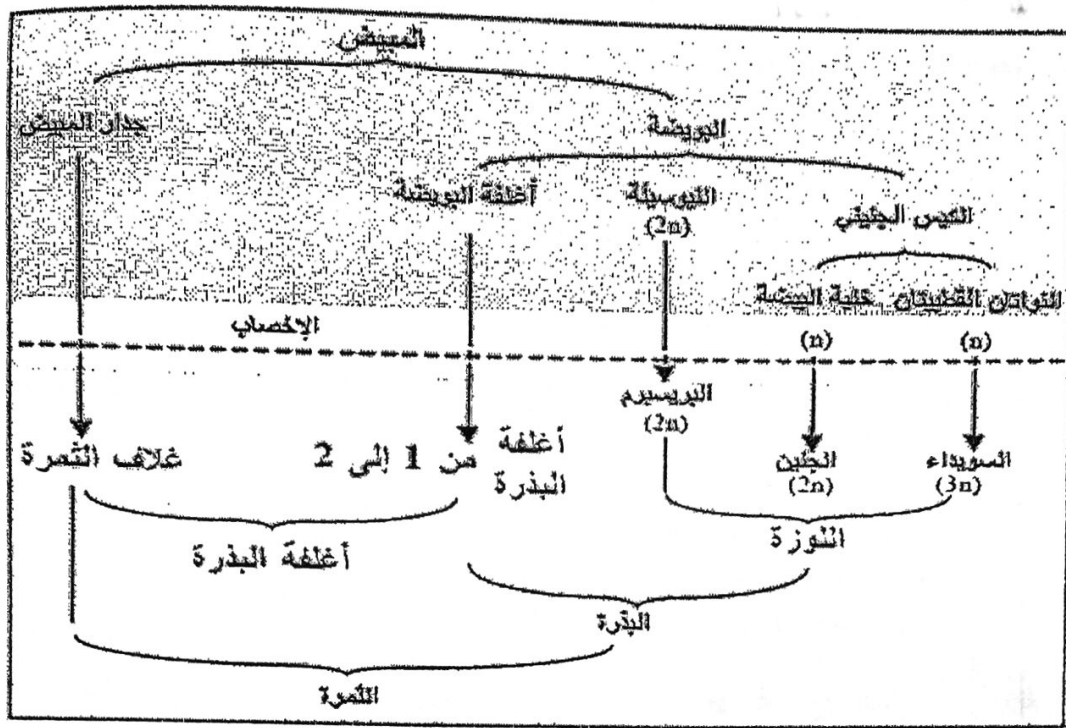


2- تشكيل البذرة عند كاسيات البذور:

بعد انتقال حبوب الطلع إما عن طريق الحشرات أو الرياح وتوضعها على ميسم الزهرة فإنها تنتج أنبوبا طليعا طويلا يخترق البويضة. يتم عندئذ إفراغ محتوى الأنبوب الذي يتضمن مشيجين ذكريين داخل الكيس الجنيني. يلتحم إحدى المشيجين بخلية البويضة Oosphère فتعطي البيضة الملقحة أو الزيجوت الأساسي (2N) الذي سيتطور فيما بعد إلى جنين، بينما يندمج المشيج الذكري الثاني بالأنوية القطبية Noyaux polaires ويعطي Zygote accessoire (3N) وهذا الأخير سيتطور ليشكل السويداء Albumen. تعرف هذه الظاهرة بالإخصاب أو التلقيح المزدوج.



الشكل: ظاهرة التلقيح المزدوج و تشكيل البذور عند كاسيات البذور Angiospermes

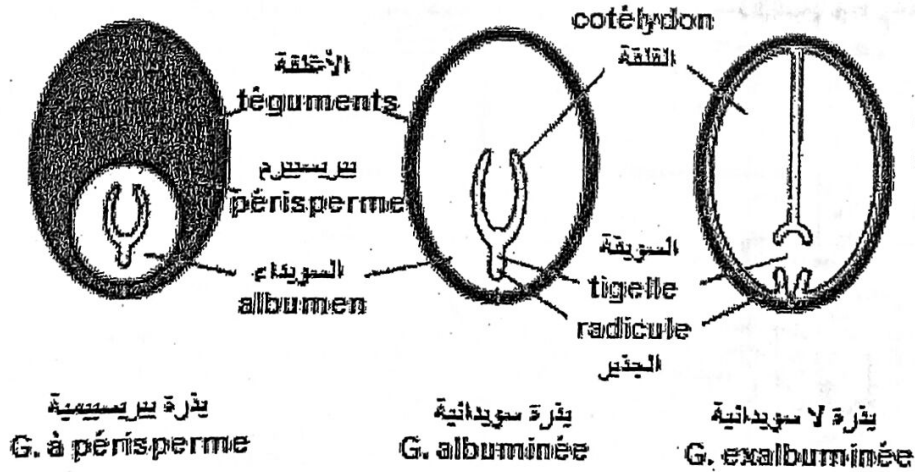


الشكل: مخطط لتطور الزهرة بعد عملية الإخصاب وتحولها إلى ثمرة

3- أنواع البذور وحجمها:

تختلف تركيب البذرة حسب المجموعات النباتية، فعند عاريات البذور نجد أنها مكونة من جنين و نسيج إيداري (بيرسبارم (Périsperme)، أما عند كاسيات البذور فتختلف حسب تطوّر النيويسيلة Nucelle حيث نجد:

- بذور بيرسبارمية Graines à périsperme: حيث يتوقف فيها انقسام السويداء بسرعة، بينما النيويسيلة فتمتلأ بالمدخرات الغذائية لتشكل النسيج الإيداري للبذرة ما يعرف بـ Périsperme. تأخذ السويداء في هذه الحالة حجماً ضئيلاً ويطلق عليها اسم Albumen micropylaire. من أمثلتها: السبانخ والبنجر السكري والفلفل الأسود.
- بذور سويدائية Graines albuminés: تمثل السويداء النسيج الإيداري حيث أنه يعوّض النويصلة شيئاً فشيئاً أثناء تطوّر البذرة. من أمثلتها: القهوة، القمح، الأرز، الذرة الصفراء، بذور الخروع.
- بذور لاسويدائية Graines exalbuminés: تشكل الفلقات (واحدة أو إثنين) الأعضاء الإيدارية نتيجة اضمحلال السويداء. في هذه الحالة تشغل الفلقات كل مساحة البذرة. من أمثلتها: الفاصولياء، الصوجا، اللفت، الترمس، البازلاء وعباد الشمس.



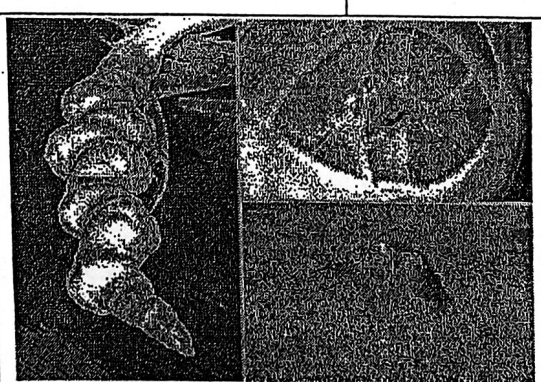


الشكل: أنواع البذور عند كاسيات البذور Angiospermes

الجدول: خصائص أنواع البذور

بذور لا سويدائية Graines sans albumen	بذور سويدائية Graines à albumen	بذور ذات بيرسپرم Graines à périsperme
تكون المواد الادخارية متواجدة مباشرة في فلقات الجنين.	تكون الأنسجة الادخارية فيها، غنية بالعناصر المغذية، لكن هذه النباتات لا تستطيع القيام بالبناء الضوئي إلا في طور تشكل الورقة الثالثة.	تكون أنسجتها الادخارية قليلة التطور. تشكل الفلاقات أوراقا فعلية، تسمح للنبات بأن يكون ذاتي التغذية.
تجلب هذه البذور شبيه الحيوانات، وبالتالي يجب أن تنبت بأسرع وقت ممكن، حتى تكون في مأمن.	تظهر هذه البذور الغنية سلبية، لأنها تكون مصدر لمجموع الديدان كالودودة الصفراء والخنافس كتنطاطة الحصاد أو الطيور.	من ايجابياتها يمكن زراعتها بسهولة، فهي لا تعتمد على المدخرات. أما سلبياتها فهي تكون عند الحصاد نسبة البذور الفعالة ضعيفة.
مثالها: بذور فول الصويا، الترمس، الفاصولياء، عباد الشمس، والبسلة.	مثالها: حبة القمح والذرة الصفراء وبذرة الخروع.	مثالها: بذور الخس والشمندر.

تختلف البذور في أحجامها اختلافا كبيرا، من المجهرية إلى العملاقة:

بطاقة فنية لشجرة نخيل (<i>Lodoicea maldivica</i>) توضح البذور الأكبر وزنا والأطول تشكلا			
نورة ذكورية قضيبية الشكل مغطاة بأزهار غزيرة صفراء وحيدة الجنس ♂			
تكبير. لجزء من نورة ذكورية ♂	تكبير. لزهرة مذكرة ♂		
		نورة مؤنثة ذات تعرج منكسر. تحمل أزهارا قليلة العدد (7 أزهار). ♀	زهرة مؤنثة ثديية الشكل ذات ميسم أصفر حلبي ♀
			تكبير. لميسم أصفر حلبي الشكل ♀

التأبير ليلا بواسطة أبو بريص برونزي (Gecko bronze)	التأبير نهارا بواسطة أبو بريص أخضر (Geckos verts) تجلبه كل من الأزهار الذكورية والأنثوية بواسطة عطرها القوي والريح، الذي يقوم بلعقه، وبعد جزء من نظامه الغذائي.	
التأبير بواسطة الحشرات (النحل).		
	بعد الإخصاب، يحتاج نضج الثمار إلى 7 سنوات كاملة.	تحتاج البذرة: ما بين 4 إلى 6 أشهر لتحلل الغلاف الثمري؛ تبدأ في الإنبات وتخرج الورقة الأولى بعد سنة؛ ويتطلب استهلاك كل مدخرات البذرة إلى سنتين كاملتين.

4- تعريف الإنبات:

هي ظاهرة حيوية تنتقل فيها البذور من حالة الحياة البطيئة إلى حالة الحياة النشطة، يستعمل الجنين أثناءها مدّخرات البذرة. ينتهي الإنبات عندما تصبح البادرة ذاتية التغذية Autotrophe. إذن يمكن أن ندمج تحت الإنبات كلّ ما يتعلّق برفع سبات البذور من نموّ الجذير و الرويشة إلى غاية ظهور أولى الأعضاء الهوائية.

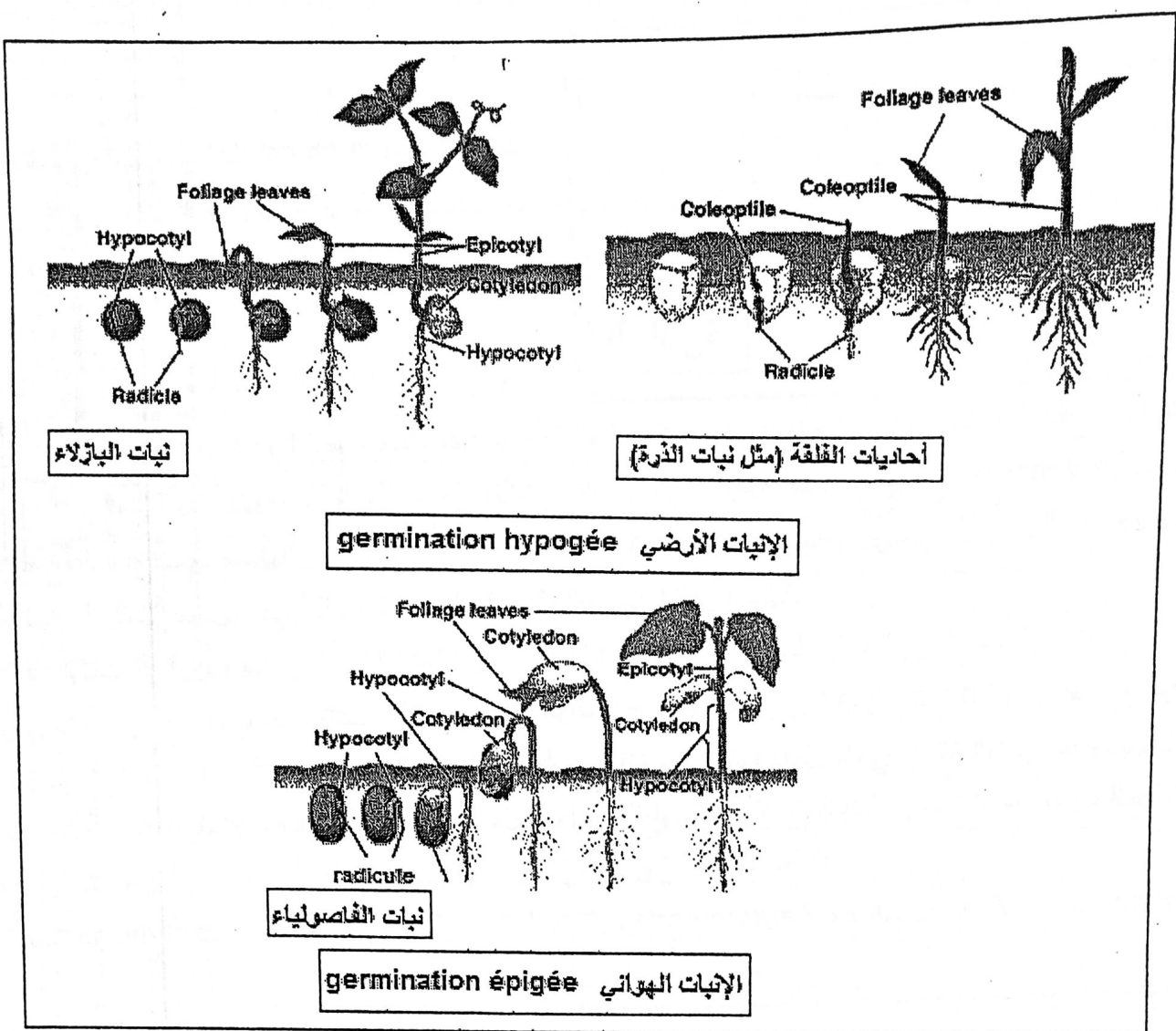
5- الظواهر المرفولوجية للإنبات:

يوجد لدى النباتات البذرية نمطين من نموّ البادرات: الإنبات الهوائي Germination épigée و الإنبات الأرضي Germination hypogée

أ- الإنبات الهوائي (مثل الفاصولياء): في هذا النمط، ترتفع البذرة إلى سطح التربة نتيجة النموّ السريع للسويقة تحت الجنينية Hypocotyle ممّا يرفع الفلقات خارج التربة.

ب- الإنبات الأرضي (مثل البازلاء): في هذا النمط، تبقى البذرة داخل التربة لأنّ السويقة تحت الجنينية لا تتطاول أو تتطاول قليلا بينما يحدث نموّ سريع للسويقة فوق الجنينية Epicotyle ممّا يبقي الفلقات ضمن الغلاف البذري داخل التربة أو بالقرب من السطح.

ملاحظة: تملك النباتات أحادية الفلقة وتحديدًا النجيليات تراكيب ثلوية وهي غمد الجذير Coléorhize وغمد الرويشة Coléoptile اللذان يلعبان دور في الحماية.



الشكل 2: أنواع الإنبيات عند كاسيات البذور Angiospermes

❖ نمط مميز للإنبيات: الولود Type de germination spécial: vivipare

تترجم الولودية "viviparité" لدى النباتات بإنبيات البذور داخل الثمار وهي محمولة على النباتات الأم. توجد هذه الظاهرة لدى حوالي 39 نوعا من النباتات العصيرية "Cactaceae"، كما جاء في أعمال كل من Palleiro 2006 و (Cota-Sanchez 2007)، وحسب هؤلاء الباحثين، تعد هذه الظاهرة طريقة استراتيجية تتبعها هذه النباتات لاستغلال الأمطار والفيضانات، قصد الرفع من حظوظ تكاثرها و ضمن محيط بيئي آخر، تشكل طريقة فعالة لإنبيات البذور في المناطق الساحلية، لأن الملوحة تعيق الإنبيات كما لاحظ هؤلاء الباحثون، وجود مختلف مراحل نمو البذور داخل نفس الثمرة، من البذرة الكاملة إلى البذرة المنتشة إلى البادرة بجذورها وفالقاتها المتطورة. كما لوحظت هذه الظاهرة، في دراسات موازية، داخل نفس الفصيلة العصيرية، لكن من نوع النباتات فوقية "épiphytes" وهما *Epiphyllum phyllanthus* و *Rhipsalis pilocarpa* وقد تكون هذه الظاهرة لدى النباتات العصيرية، صعبة الملاحظة من طرف العامة من الناس، وتحتاج إلى أهل الاختصاص، لأنها قد تحتاج إلى وسيلة تكبير لإيضاحها.

أما في مجاميع نباتية أخرى تكون سهلة المشاهدة، كما لدى نبات (*Sechium edule*) من الفصيلة القرعية *Cucurbitaceae* وهو نبات عشبي معمر، بحيث أن البذرة تنبت داخل الثمرة الشكل. كما توجد هذه الظاهرة لدى نوع نباتي عشبي آخر، من الفصيلة الخيمية *Apiaceae* يعرف بنبات (*Eryngium viviparum*)، حيث أن البذور تنبت على النبات الأم معطية ميلادا لبادرات عليها جذورا، منحتها هذه الخاصية اسمها العلمي "E. viviparum".

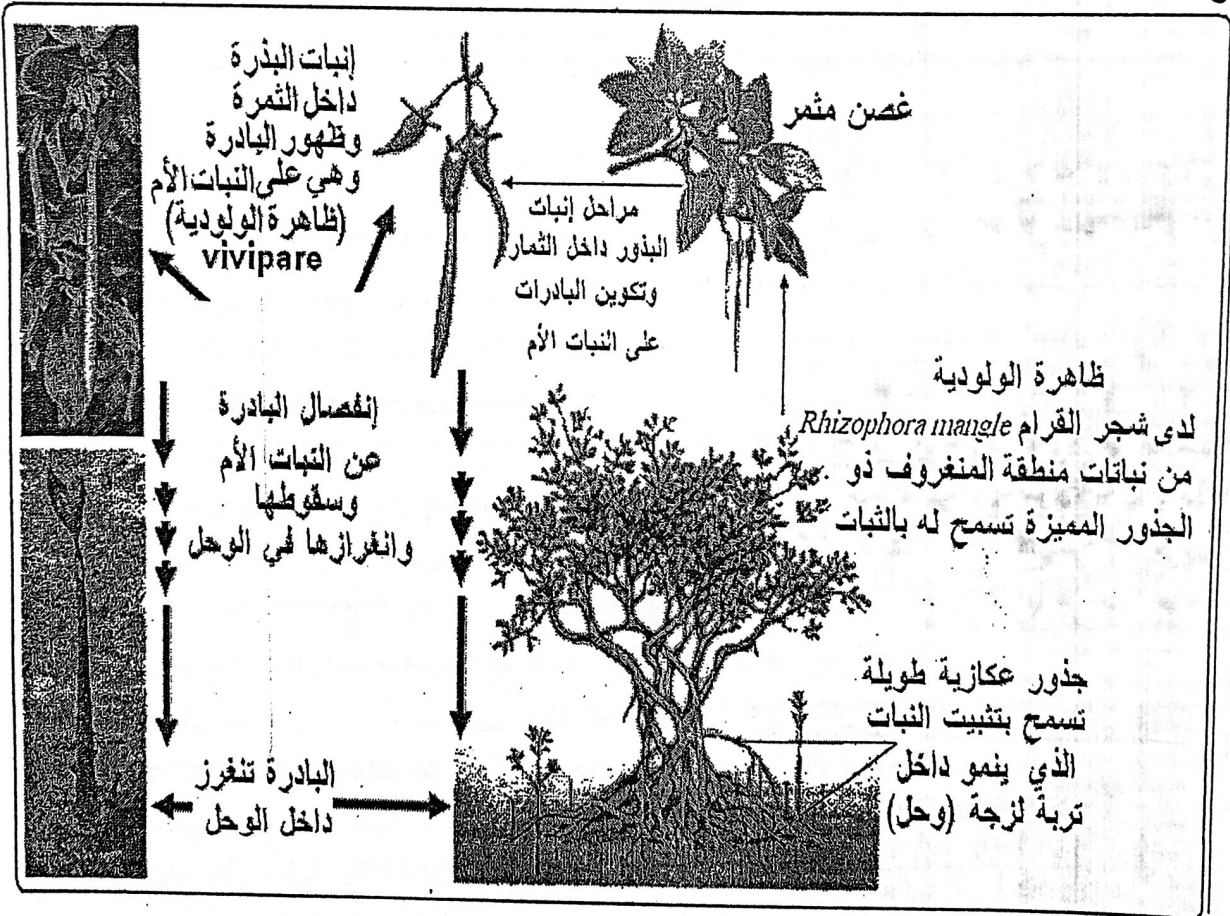


الشكل: ظاهرة الولودية لدى نبات " *Sechium edule* " ، تثبت البذرة داخل الثمرة، وتبرز إلى الخارج في شكل بادرة.

أما النمط النموذجي لهذه الظاهرة، حيث تكون واضحة للعيان، يتجسد في فلورة مناطق المنغروف، المشكلة من العديد من الأنواع الشجرية والجبينية، يتميز معظم هذه الأنواع بتكوين جذور هوائية عكازية طويلة (racines échassées). تختلف من نوع لآخر، منحنتها هذه الميزة، مصطلح " المنغروف mangrove بالبرتغالية وتعني شجرة الجذور؛ و grove بالانجليزية وتعني بستان، التي أطلقت خصيصاً على هذه النوع من الفلورة النباتية. تشكل نباتات المنغروف مناطق السبخة للشواطئ البحرية ذات المد والجزر. إن الإنبات الولود لهذه البذور يتم في الثمرة وهي متصلة بالنبات الأم، حيث تتشكل البادرة ويبرز السويقة الجينية تحت الفلقة " hypocotyle " والتي قد يبلغ طولها 29سم، ثم تسقط تحت تأثير الرياح وتقاله الجاذبية الأرضية فتغرس مباشرة داخل طمي منطقة المنغروف، وسبب ذلك حتى تتجنب البذور حالات الغرق أو الاختناق داخل الوحل أو الملوحة التي تعيق إنباتها أو الالتهام من طرف الحيوانات المائية مثلاً. ويكون هذا النوع من الإنبات الولود شائعاً في أجناس المنغروف التالية:

Sonneratia ، *Rhizophora* ، *Laguncularia* ، *Kandelia* ، *Cercops* ، *Bruguier* ، *Avicennia*

الخ.



الشكل: مخطط يوضح ظاهرة الولودية لدى شجر القرام من فلورة المنغروف.

6- شروط الإنبات:

يتعلق الإنبات بعدة عوامل داخلية و خارجية:

الشروط الخارجية: وهي المرتبطة بالظروف البيئية (الماء، الحرارة، الأكسجين).

الشروط الداخلية: وهي المرتبطة بتركيب البذرة (النضج، الحيوية، السبات والحساسية للضوء).

6-1- تأثير العوامل الخارجية:

أ- الماء السائل: تتراوح كمية الماء الضرورية والتي تسمح بإعادة تميّه الأنسجة من 50 إلى 250% من الوزن الجاف للبذرة وهذا الاختلاف يرتبط كثيرا بنوع النسيج الإدخاري.

[-H ₂ O]	Graines	بذور	Graines	بذور	Graines	بذور	[+H ₂ O]
	oléagineuses	زيتية	amylacées	نشوية	protéagineuses	بروتينية	

يتغير إمتصاص الماء حسب:

- طبيعة الأغلفة البذرية: مسامية poreux أو شمعية cireux.
- طبيعة التربة: رملية، طينية، ذبالية... إلخ.
- الحرارة: أعلى أو أقل من 0°م.

يمكن للبذور أن تتب في أترية ذات محتوى مائي ضئيل وبالعكس فإن غمرها في الماء يؤدي لإختناقها نتيجة غياب الأكسجين ونستنتي من هذا بذور النباتات Marécageuse مثل الأرز التي يمكنها التأقلم في هذه الظروف.

ب- الحرارة: تؤثر الحرارة على النشاطات الإنزيمية، نفاذية الأغشية وعلى دخول الأكسجين. إذن يمكن الحديث عن الحرارة المثلى للإنبات وهي التي تسمح بتحديد وقت زرع البذور.

درجة الحرارة المثلى للإنبات (°م)	أمثلة	نوع البذور
35-30	Concombre الخيار	بذور لا تنبت إلا في درجات الحرارة المرتفعة
40-30h	Sorgho الحنطة السوداء	
30-25	Mais الذرة الصفراء	
15-10	Poireau الكراث	بذور لا تنبت إلا في درجات الحرارة المنخفضة
15-10	Celeri الكرفس	
20	Betterave الشمندر	
12-0	Tulipe الشوالت	

ج- الأكسجين: يتراوح تركيز الأكسجين الضروري لعملية الإنبات من 0.5 إلى 10% وهو أقل من تركيز الأكسجين الجوي.

يخترق الأكسجين أغلفة البذرة وفي حالة وجود الفينولات القابلة للأكسدة فإن هذا يمنع مرور الأكسجين إلى داخل الجنين. في هذه الحالة فإن إجراء خدش سطحي للأغلفة ضروري لإنبات البذرة.

6-2- تأثير العوامل الداخلية:

أ- نضج البذور_Maturité: يشترط للإنبات أن تكون البذرة مكتملة النضج. عند بعض الأنواع النباتية تكمل البذور نضجها بعد سقوط الثمرة على سطح التربة.

ب- حيوية البذور_Viabilité: نقصد بها قدرة البذور على الإنبات. تختلف هذه القدرة حسب الأنواع النباتية فهي تمتد ما بين عدة أيام كما هو الحال لدى أشجار القيقب السكري *Acer saccharium* إلى عدة أسابيع كما هو الحال لدى نبات

الصفصاف *peuplier* أو عدة أشهر كما لدى أشجار المطاط وقصب السكر. نادرا ما تتجاوز السنة لدى الغالبية العظمى من البذور الزيتية مثل فستق العبيد *Arachide*، الخروع والجوز حيث تتأكسد المذخرات الزيتية بسرعة فتصبح سامة نتيجة ظاهرة الزنخ *Rancissement*. كما يمكن أن تصل حيوية بذور بعض النباتات إلى عدة سنوات.

الجدول : حيوية بذور النباتات مقدرة بعدد السنين			
عدد السنين	الاسم العربي أو اللاتيني	عدد السنين	الاسم العربي أو اللاتيني
30	التبغ <i>Nicotiana tabacum</i>	1 - 3	البصل <i>Allium</i> ؛ الذرة <i>Zyca</i> أنخس <i>Lactuca</i> ؛ الباميا <i>Hibiscus</i> الجزر <i>Daucus carota</i>
حيوية بذور النباتات البرية مقدرة بعدد السنوات			
40	<i>Ambrosia</i>	5 - 10	الحاصلات النجيلية <i>Céréales</i> الطماطم <i>Solanum lycopersicum</i> الدلاع <i>Cucurbita citrillus</i>
50	كرب أسود <i>Brassica nigra</i> عصا الراعي <i>Polygonum</i> <i>hydropiper</i>		
70	أخدرية <i>Oenothera biennis</i> حمامض <i>Rumex crispus</i> بوصير <i>Verbascum blattaria</i>	10 - 25	الحسك <i>Xanthium</i> ، البرسيم <i>Medicago</i> البازلاء <i>Pisum</i> ، الفول <i>Faba</i> الفاصوليا <i>Phaseolus</i>
حيوية بذور النباتات المحفوظة في المعشبات "Herbiers"، حسب أعمال BECQUEREL سنة 1931، حيث أستطاع إنبات بذور <i>Cassia multijuga</i> من معشبة ترجع إلى سنة 1776م، وأخرى <i>Cassia bicapsularis</i> إلى سنة 1819م.			
لقد نجح البعض في إنبات بذور <i>Nelumbo nucifera</i> وجدت في ترسبات ترجع إلى 200 سنة مضت.			

بالإضافة إلى أن كل من درجة حرارة التخزين ورطوبة البذور الداخلية تلعبان دورا كبيرا في زيادة أو نقصان.

❖ درجة الحرارة : كلما ارتفعت درجة الحرارة كلما قصر عمر البذور؛ فقد وجد أن لكل زيادة قدرها 5°م -

فوق 1°م ولغاية 35°م، فإن عمر البذور المخزونة يقل بالنصف وبعبارة أخرى:

- في 1°م يكون عمر بذور أحد النباتات 16 سنة

- في 5°م يكون عمر بذور ذلك النبات 8 سنوات؛

- في 10°م يكون عمر بذور ذلك النبات 4 سنوات؛

- في 15°م يكون عمر بذور ذلك النبات سنتين؛

- في 20°م يكون عمر بذور ذلك النبات سنة واحدة؛

- في 25°م يكون عمر بذور ذلك النبات 6 أشهر؛

- في 30°م يكون عمر بذور ذلك النبات 3 أشهر؛

- في 35°م يكون عمر بذور ذلك النبات شهر ونصف.

مثال :أيهما أطول عمرا البذور المخزونة في 10°م أو في 20°م.

الجواب 1 : درجة الحرارة العمر

20°م 1 مرة

15°م 2 مرة

10°م 4 مرات

أي أن البذور المخزونة في 10°م تكون أربع مرات أطول عمرا من تلك المخزونة في 20°م.

❖ رطوبة البذور الداخلية : كلما كانت رطوبة البذور الداخلية عالية كلما قصر عمر البذور. فقد وجد أنه لكل

انخفاض قدره % 1 في نسبة رطوبة البذور من % 14 ولغاية % 4 فان عمر البذور المخزونة يتضاعف. وبعبارة أخرى:

- إذا كانت رطوبة بذور أحد النباتات % 14 فان عمر البذور يصبح أسبوعا واحدا؛
- إذا كانت رطوبة بذور ذلك النبات % 13 فان عمر البذور يصبح أسبوعين؛
- إذا كانت رطوبة بذور ذلك النبات % 12 فان عمر البذور يصبح 4 أسابيع؛
- إذا كانت رطوبة بذور ذلك النبات % 11 فان عمر البذور يصبح 8 أسابيع؛
- إذا كانت رطوبة بذور ذلك النبات % 10 فان عمر البذور يصبح 16 أسبوعا؛
- إذا كانت رطوبة بذور ذلك النبات % 4 فان عمر البذور يصبح 1124 أسبوعا.

مثال :أيهما أطول عمرا البذور المخزونة وذات رطوبة داخلية % 14 ، أم إذا كانت رطوبتها الداخلية

(11 %)

الجواب :

العمر	الرطوبة %
مرة 1	14
مرتان 2	13
مرات 4	12
مرات 8	11

أي أن عمر البذور ذات رطوبة % 11 تكون أطول عمرا ب 8 مرات مما لو خزنت ورطوبتها % 14 .

ج- السبات Dormance: يعني عدم القدرة على الإنبات بشكل مؤقت حتى ولو توفرت الظروف المناسبة حيث تبقى البذرة في حالة الحياة البطيئة جدًا. يعتبر السبات آلية للتأقلم يستعمله النبات بهدف إستمرارية النوع بحيث يتجنب النبات الفصول غير الملائمة، كما أنه يساهم في توزيع و انتشار البذور وبذلك بقاء النوع النباتي.

في بعض الحالات يكون السبات نافعا لإحتياجات الإنسان، فسبات الحبوب مثلا يسهل جفاف البذور و بالتالي يمكن تخزينها، نقلها و تسويقها ومن ثم إستهلاكها كغذاء للإنسان أو كعلف للحيوانات.

ج-1- أنواع السبات: يختلف تقسيم لأنواع السبات حسب المراجع. فمثلا يقسم السبات حسب وقت حدوثه إلى سبات أولي و سبات ثانوي:

- **السبات الأولي Dormance primaire:** يحدث هذا النوع من السبات عندما تدخل البذرة المنفصلة عن النبات الأم حالة السبات قبل ظهور الظروف غير الملائمة. فمثلا يجتاز النبات فصل الشتاء في حالة غير قادرة على الإنبات.

- **السبات الثانوي Dormance secondaire:** ينتج عندما تدخل البذرة المنفصلة عن النبات الأم حالة السبات عقب ظهور الظروف غير الملائمة كنتيجة لارتفاع درجات الحرارة، حدوث الجفاف، نقص الأكسجين... وغيرها.

يمكن تقسيم السبات حسب مصدره إلى سبات ناجم عن الأغلفة البذرية و سبات ناجم عن الجنين:

- **السبات الناجم عن الأغلفة البذرية Dormance tégumentaire:** يوجد العديد من العوامل المختلفة التي يمكن أن تتدخل في آن واحد:

- عدم النفاذية للماء Imperméabilité à l'eau: وهي حالة العديد من نباتات الفصيلة البقولية.
- محدودية دخول للأكسجين Limitation de l'entrée de l'oxygène: كحالة ثمرة نبات *Xanthium strumarium* الذي يحوي بذرتين: البذرة السفلية تنبت في الربيع بينما البذرة العلوية فتبقى في حالة سبات لأن أغلفتها قليلة النفاذية للأكسجين وبما أن جنين البذرة يحتاج لنموه تركيز عالي من الأكسجين فإنها تبقى في حالة سبات إلى غاية إزالة الغلاف البذري أو زيادة ضغط الأكسجين.

- المقاومة الميكانيكية Résistance mécanique: تعيق الأغلفة الصلبة خروج الجذير وبروز البادرة وهي حالة بذور نباتي *Alisma sp* و *Plantago sp*.
- المثبطات الكيميائية Inhibiteurs chimiques: تحتوي أغلفة بعض الثمار و البذور على مثبطات الإنبات، أكثرها شيوعا: المثبطات الطيارة (حمض السيانهديريك، النشادر، الإيثيلين، العديد من المشتقات الكبريتية)، ألدهيدات و أحماض عضوية، حمض الأبسيسيك (عبارة عن هرمون نباتي)، الكومارينات و بعض اللاكتونات، أحماض فينولية (حمض الكافيك وحمض الفيروليك).
- ملاحظة: يلاحظ أنّ بذور الفصيلة الوردية Rosacées لا تنبت بعد عملية تشربها لأنّ التحلل المائي لمركّب الأميدالين الذي تحتويه يسبب تحرير حمض السيانهديريك و البنزالدهيد وهما مركبان مثبطان لعملية التنفس. لا يتم التخلص من حمض سيانهديريك إلا بعد تحلل الأغلفة غير النفوذة، وعندئذ فقط، يمكن للبذرة أن تنبت.
- السبات الجنيني Dormance embryonnaire: وهو يخصّ الجنين، يحدث نتيجة عدم اكتمال نضج الجنين أو لوجود مثبطات كيميائية.

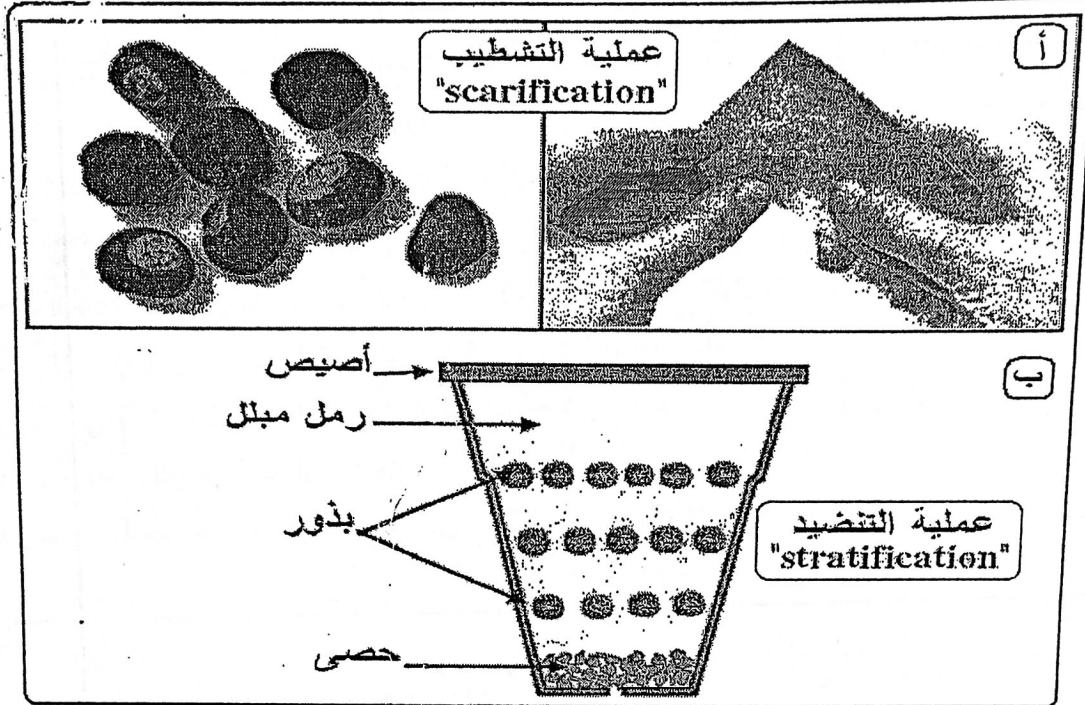
الجدول: محتوى البذور من المواد المثبطة و أماكن تواجدها		
الأنواع النباتية باللاتينية	أماكن تواجد المواد المثبطة	المواد المثبطة
<i>Acer negundo</i>	الغلاف الثمري	ABA
<i>Avena fatua</i>	غير محدد	ABA
<i>Beta vulgaris</i>	الغلاف الثمري	السلاسل القصيرة للأحماض الدهنية
		حمض الفينوليك
		Cis-Cyclohexene-1,2-dicarboximide
		الأيونات غير العضوية
<i>Corylus avellana</i>	الغلاف البذري، الجنين	ABA
<i>Eleagus angustifolia</i>	الغلاف الثمري/البذري	كومارين
	الجنين	كومارين
<i>Fraxinus amirica</i>	الغلاف الثمري	ABA
	الجنين	ABA
<i>Medicago sativa</i>	الأندوسيرم	ABA
<i>Prunus domestica</i>	الجنين	ABA
<i>Rosa canina</i>	الغلاف الثمري/البذري	ABA
<i>Taxus baccata</i>	الجنين	ABA
<i>Titicum spp.</i>	الغلاف الثمري/البذري	الكاتشين والتانينات Catechin & tannins

ج-2- رفع السبات Levée de dormance: يتم رفع السبات في الطبيعة عن طريق تحلل الأغلفة سواء تحت تأثير العوامل البيئية كالجفاف أو التناوب بين الجفاف و الرطوبة أو التناوب بين التجمّد و التسخين أو تحت فعل و نشاط بكتيريا و فطريات التربة أو حتى بعد مرورها على الجهاز الهضمي لبعض الحيوانات كالطيور و الماعز و الجمال. بالنسبة للمثبطات الطيارة فإنّها تتبخر مع مرور الزمن و البعض الآخر يغسل بماء المطر.

يمكن رفع السبات إصطناعيا بعدة طرق منها:

- التشطيب Scarification: وهو تخريب الأغلفة البذرية سواء بالتقشير، السحق أو الخدش.

- الرشح Lixiviation : التخلص من المثبطات القابلة للذوبان في الماء عن طريق الغمر في الماء.
- المعالجة بالماء الأكسجيني: يستخدم من أجل إشباع المركبات الفينولية بالأكسجين.
- الصدمات الحرارية.
- التنضيد Stratification: وهو وضع البذور في وسط رطب ذو حرارة منخفضة (5 إلى 10°م). يمكن رفع السبات الجنيني باستعمال التنضيد أو عن طريق التناوب الحراري أو الضوئي.



د- حساسية البذور للضوء **Photosensibilité**: نجد لدى النباتات العديد من أنماط الحساسية للضوء:

- إذا كان للضوء تأثير موجب: نتحدث عن بذور ذات حساسية موجبة للضوء **photosensibilité positive**. وهي تصادف عند 70% من البذور.
- إذا كان للظلام تأثير موجب: نتحدث عن بذور ذات حساسية موجبة للظلام **photosensibilité négative**. نجدها عند 25% من البذور.
- إذا كان للظلام و الضوء تأثير موجب فنحدث عن بذور غير حساسة للضوء **photosensibilité indifférente** وتوجد عند 5% من البذور.

أظهرت الأبحاث أنّ بذور الخس تنبت في وجود الضوء الأبيض و الأحمر ($\lambda=630\text{ nm}$) ولكنها لا تنبت في وجود الأحمر البعيد ($\lambda=730\text{ nm}$) ولا بعد إحداث تناوب في أطوال الموجات. كما لوحظ أنّ آخر تحفيز ضوئي هو الذي يسمح أو لا يسمح بالإنبات وهذا يشير لوجود مستقبلات ضوئية. عرفت هذه المستقبلات بالفيتوكرومات وهي تنشط في وجود الطيف الأحمر و تثبط في وجود الطيف الأحمر البعيد (لاحظ الجدول التالي). و للعلم فإنّ هذه الفيتوكرومات تتدخل في عدّة مستويات من تطوّر النبات: الإنبات و الإزهار.

المعاملة	إنبات بذور الخس (- لا تنبت)؛ (+ تنبت)
ظلام	-
R	+
R,FR	-
R,FR,R	+
R,FR,R,FR	-
R,FR,R,FR,R	+
الطيف الأحمر R ($\lambda=630\text{ nm}$) ؛ الطيف الأحمر البعيد FR ($\lambda=730\text{ nm}$).	

7- الظواهر الفيزيولوجية للإنبات:

أثناء الإنبات، يتضاعف حجم البذرة نتيجة إمتصاصها للماء فيزداد حجم الجنين بحوالي 1200%.

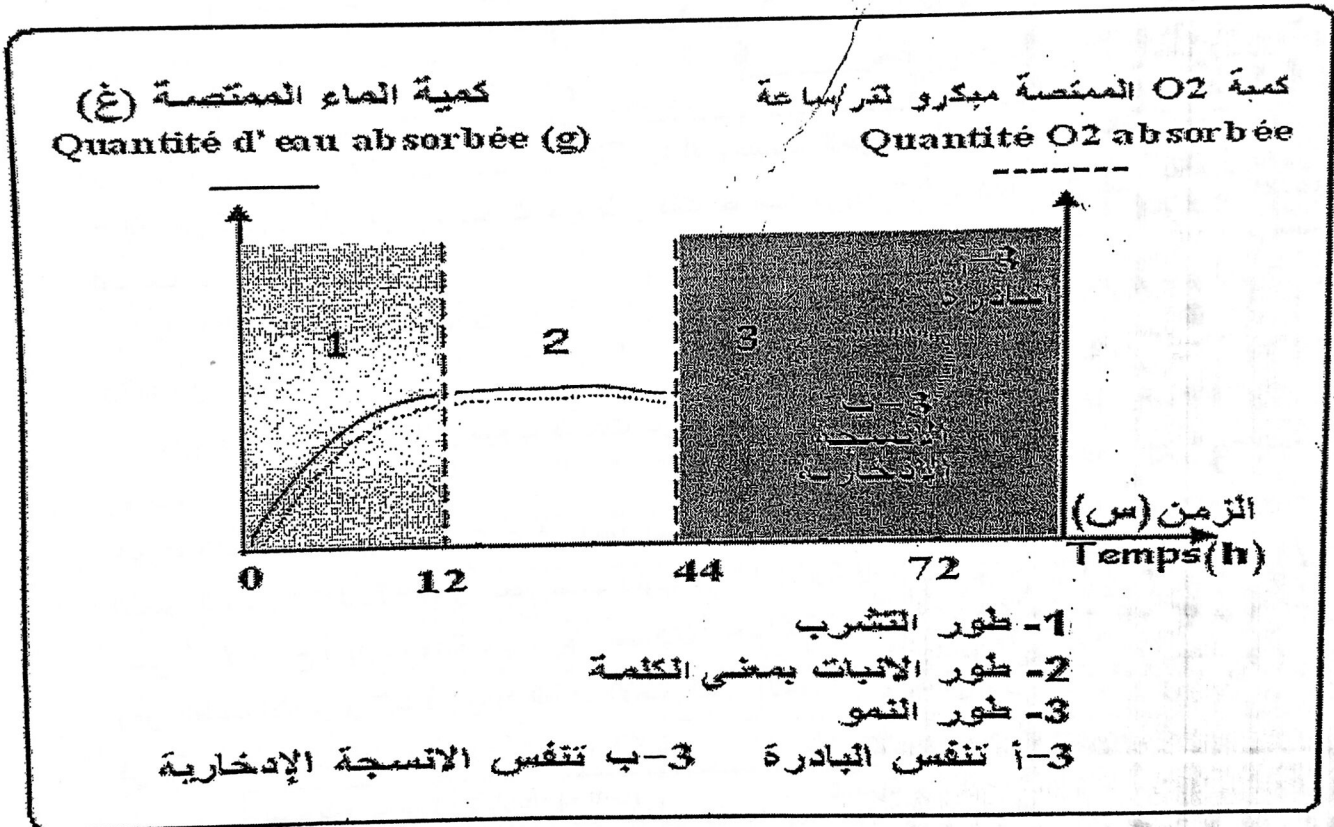
يتميز الإنبات بثلاث أطوار:

- الطور الأول (طور التشرب) Phase d'imbibition: يتميز بامتصاص سريع للماء. هذه المرحلة تستغرق عدة ساعات وهي تسمح بتميه الأنسجة و استعادة الأنشطة الأيضية.
- الطور الثاني (طور الإنبات بمعنى الكلمة) Phase de germination sensu stricto: يبقى محتوى الماء ثابتا داخل البذرة، ينتهي هذا الطور ببروز الجذير حيث أنه بمجرد اختراقه للأغلفة يصبح الإنبات غير عكسي.
- الطور الثالث (طور النمو) Phase de croissance: يتميز بعودة امتصاص الماء من جديد. يحدث نمو للجنين وبداية هدم المخزون الغذائي وبروز البادرات.

إن استهلاك البذرة للأكسجين مشابه تماما لإستهلاكها للماء، ففي الطور الأول يلاحظ استهلاك كبير للأكسجين ما يعني زيادة عملية التنفس ويفسر ذلك بأن الإنزيمات الميتوكوندرية تنشط بوجود الماء.

في الطور الثاني يثبت استهلاك الأكسجين نتيجة التوزع غير المتجانس للأكسجين في البذرة بسبب التطور البطيء للميتوكوندري أو نقص للركائز ذات الوزن الجزيئي الضعيف.

في الطور الثالث يلاحظ عودة استهلاك الأكسجين بشكل معتبر يفسر بالإنتاج المكثف للميتوكوندري.



الشكل: المنحنى النظري لمراحل الإنبات

8- الظواهر البنيوية للإنبات:

المرحلة STAGE الطور	المظاهر EVENTS النتيجة
ما قبل الإنبات PREGERMINATION	1- الإماهة- تشرب الماء 2- تحفيز وبناء كل من RNA & البروتينات 3- ارتفاع في الأيض - ارتفاع في التنفس 4- تحلل (هضم) المدخرات بواسطة الإنزيمات 5- تغيير في ما فوق البنية الخلوية 6- حث الانقسام الخلوي & النمو الخلوي
الإنبات GERMINATION	1- انقطاع في الغلاف البذري 2- انبثاق البادرة، ظهور الجذير الاعتيادي
ما بعد الإنبات POST GERMINATION	1- تنظيم نمو محور الجذر والساق 2- تنظيم نقل المواد من الأنسجة الادخارية نحو محور نمو الجنين 3- شيخوخة أنسجة الأعضاء الادخارية

9- الظواهر الأيضية للإنبات:

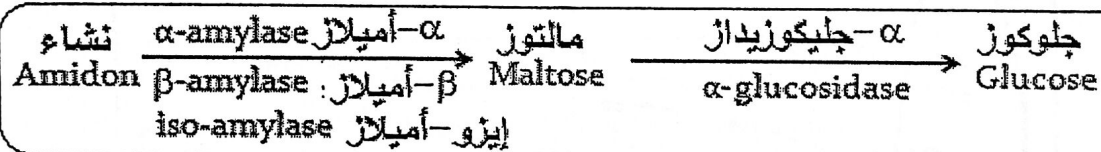
1-9- هدم المدخرات الغذائية :Dégradation de réserves

في الطور الثالث من الإنبات، تنشط عمليات الأيض الهدمي، مما يسمح للجنين بالتطور انطلاقا من الطاقة المتأتية من هدم المدخرات المخزنة في السويداء أو الفلاقات.

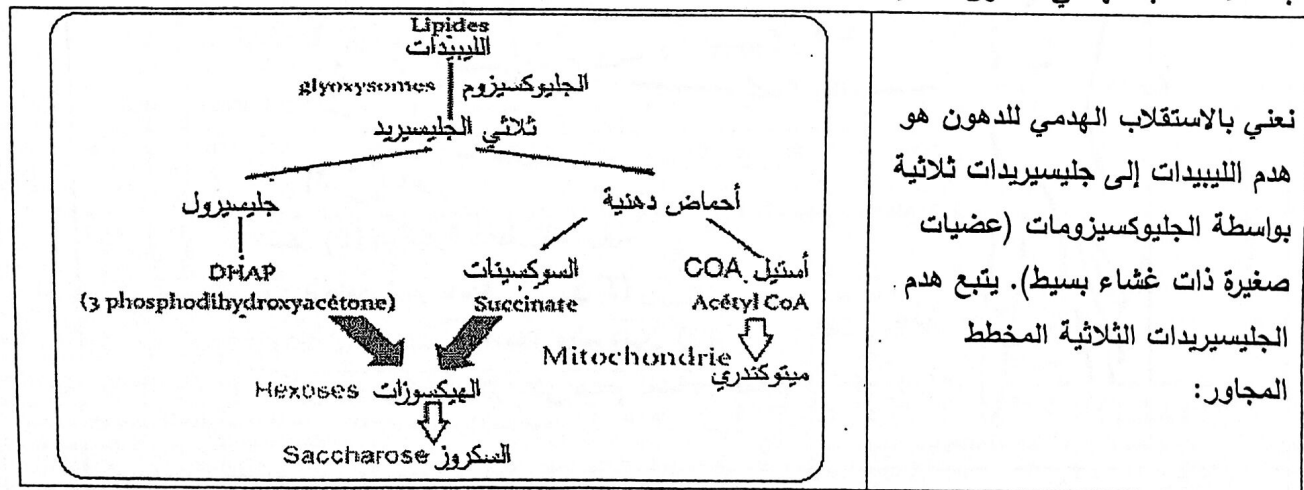
نجد ثلاث أنواع من الأيض الهدمي:

أ- الاستقلاب الهدمي للسكريات Catabolisme glucidique:

يزود هذا المسلك بالنشاء و السكروز.



ب- الاستقلاب الهدمي للدهون Catabolisme lipidique:



ج- الاستقلاب الهدي للبروتينات : Catabolisme protéique

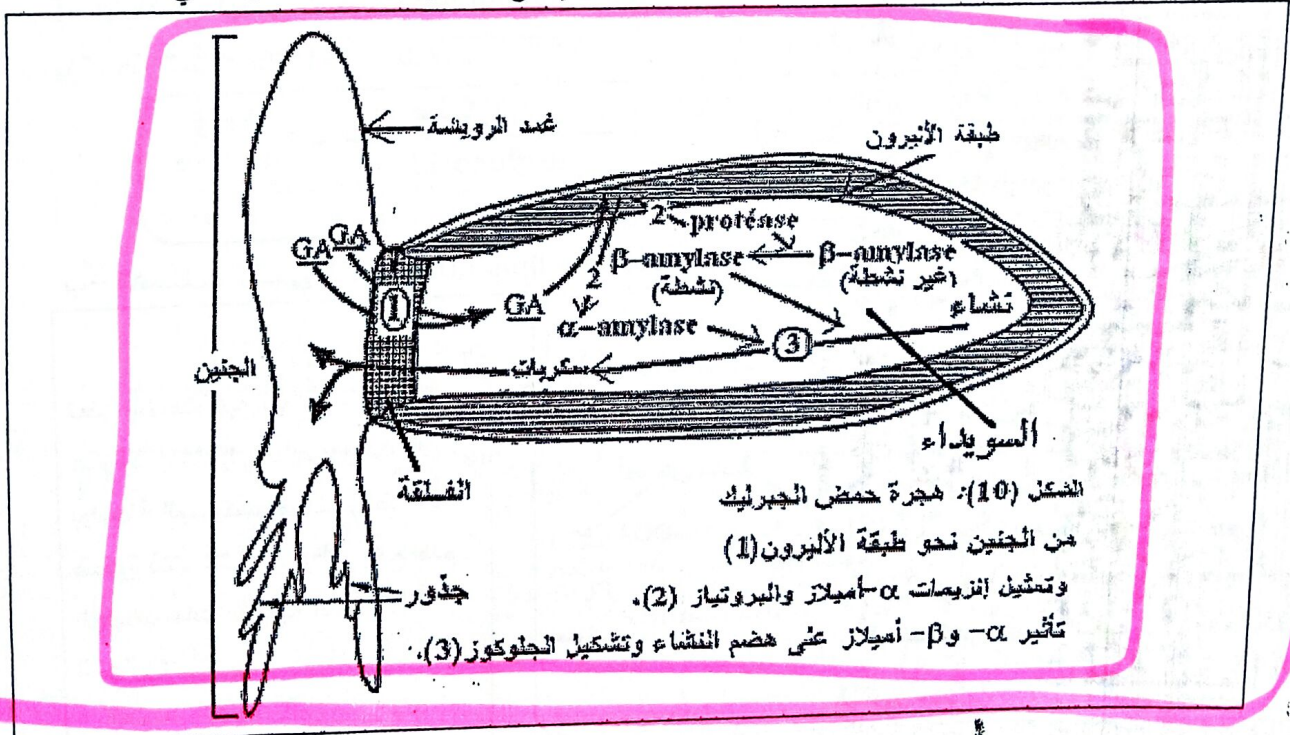
تزود بالبروتينات المدخرة والتي تكون على عدة أنواع: albumine, globuline, glutéline وغيرها. يحدث الهدم بفعل الإنزيمات البروتينية التالية: Thiolendopeptidase من أجل الروابط الكبريتية، Métalloendopeptidase من أجل المساعدات الإنزيمية، Carboxyexopeptidase من أجل النهايات الكربوكسيلية، Aminoexopeptidase من أجل النهايات الأمينية. تنتج عملية الهدم الأحماض الأمينية. حوالي 80% منها تنقل إلى الجنين على شكلين glutamine أو asparagine .

❖ تؤدي كل عمليات الهدم إلى إنتاج للطاقة و القدرة الإرجاعية. تستخدم الوسائط المتشكلة أثناء هدم السكريات وحلقة كريبس كركائز في العديد من المسارات الأيضية: تركيب الأحماض الأمينية، الأحماض النووية، مكونات الجدار... وغيرها.

❖ تنظم إنزيمات هدم المدخرات سواء بتنشيط الإنزيمات الموجودة أصلا داخل البذرة مثل إنزيم β -أميلاز أو تركيب إنزيمات جديدة مثل إنزيم α -أميلاز، البروتياز، النيوكلياز.

9-2- مراقبة إنبات البذور بواسطة الجبرلين:

يوضح الشكل اللاحق الإفراز الإنزيمي وتفكيك السكريات تحت تأثير الجبريلينات أثناء إنبات بذور الشعير (*Hordeum vulgare*). تهاجر الجبريلينات بواسطة الماء من المحور الجنيني نحو طبقة الأليرون حيث تعمل على حث تصنيع α -أميلاز و البروتياز. يقوم البروتياز بتحويل الشكل غير النشط لإنزيم β -أميلاز إلى الشكل النشط الفعال، كما تساهم الجبريلينات في سرعة انتشار الأميلاز من طبقة الأليرون نحو النشاء. يعمل كل من α -أميلاز و β -أميلاز على هضم النشاء و تشكيل الجلوكوز الذي يستعمل من أجل الإحتياجات الأيضية للجنين في مرحلة النمو. أثبتت الأبحاث أنه أثناء التركيب الحيوي لإنزيم α -أميلاز عند الحبوب يحدث زيادة في تركيز حمض الجبريليك وذلك مباشرة قبل بداية تركيب هذا الإنزيم. كما لوحظ أيضا أن الجبريلينات تحدث ارتفاعا في كمية ARNm المشفر لإنزيم α -أميلاز مما يدل على أن حمض الجبريليك له تأثير محفز مباشر لإنتاج α -أميلاز؛ لاحظ الشكل التالي:



10- حساب نسبة ومعامل الإنبات:

من أجل حساب نسبة و معامل الإنبات، عادة ما توضع حوالي 100 بذرة لنبات ما في طبق بترى و يضاف لها الماء ثم تترك لعدة أيام ثم تحتسب عدد البادرات.

معادلة KOTOWSKY:

$$G\% = L/S \times 100$$

G%= نسبة الإنبات
L= عدد البادرات
S= العدد الكلي للبذور المستعملة

حساب نسبة الإنبات G%

معادلة KOTOWSKY:

$$C.V\% = \frac{(A1+A2+.....+An)}{(A1 \times T1 + A2 \times T2 + + An \times Tn)} \times 100$$

C.V%= معامل الإنبات
An= عدد البادرات في أي يوم
Tn= عدد الأيام

حساب معامل الإنبات C.V%

تطبيق: بعد حدوث الإنبات، وجد في اليوم الأول 10 بادرات و في اليوم الثاني 50 بادرة و في اليوم الثالث 40 بادرة.

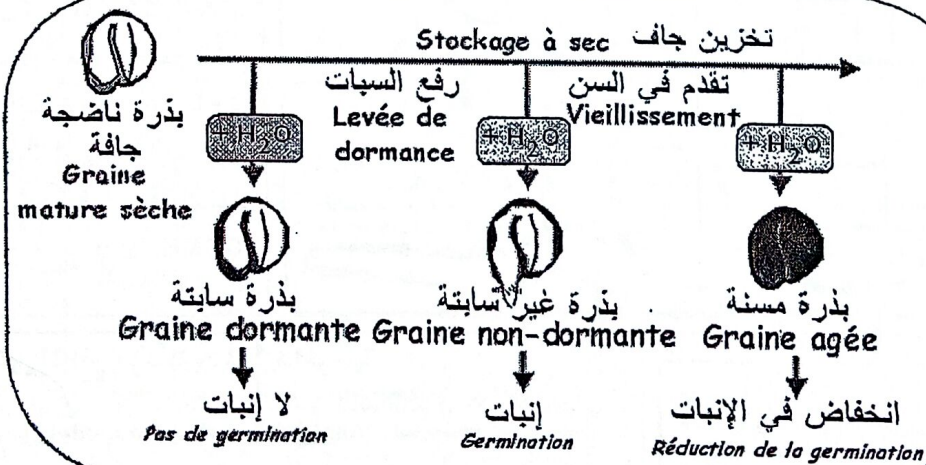
احسب نسبة الإنبات ومعامل الإنبات؟

$$G\% = (L/S) \times 100$$

$$= (10+50+40)/100 \times 100 = 100\%$$

$$C.V\% = \frac{(A1+A2+.....+An)}{(A1 \times T1 + A2 \times T2 + + An \times Tn)} \times 100$$

$$= 10+50+40 / (10 \times 1 + 50 \times 2 + 40 \times 3) \times 100 = 43\%$$



الشكل: مخطط يوضح مدى تأثير كل من السبات على عدم القدرة على أنبات بذور حديثة الحصاد وانخفاض نسبة الانبات مع التقدم في السن لدى البذور التي سبق رفع سباتها.

11- صفات البذور الجيدة؛ يجب أن تكون:

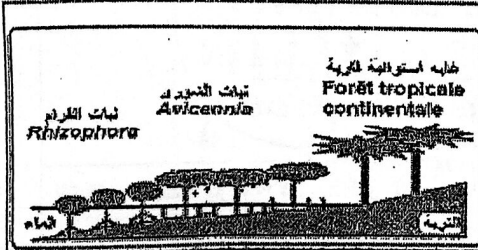
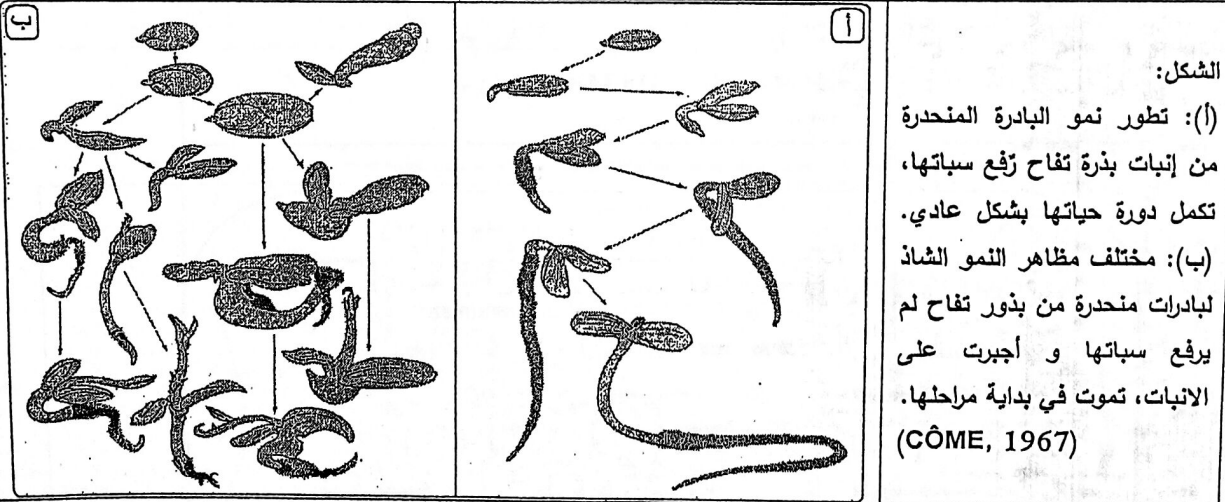
- نظيفة، أي خالية من الشوائب الأجنبية كالتربة والأجزاء المنكسرة أو بذور نباتات أخرى،
- خالية من الأمراض والحشرات،
- مطابقة لاسمها الحقيقي المكتوب على العبوات وخاصة اسمها العلمي اللاتيني،
- ذات حيوية عالية وتنمو نموا جيدا،
- منتظمة الشكل والحجم واللون "متجانسة".

❖ ما هي الفائدة من دراسة إنبات وسبات البذور في حياتنا الاقتصادية؟

ج : يقاس تقدم الأمم بمقدار ما تنتجه للاستهلاك المحلي ومقدار ما تصدره نحو الخارج من البذور سواء تلك الموجهة للاستهلاك الآدمي أو تلك الموجهة لتغذية الأنعام، والآن هنالك حرب باردة خفية بين دول العالم المتقدم تكنولوجيا حول مدى احتكار تسويق البذور، مع العلم أن مخابر الدول المتقدمة تعمل في سرية تامة، عن الخطوات الوراثية التي تقود إلى إنتاج بذور يمكن للمزارع استغلال المنتج أو الجيل الأول فقط، ثم إذا حاول المزارع، زراعة بذور الجيل الأول فيحصل إما:

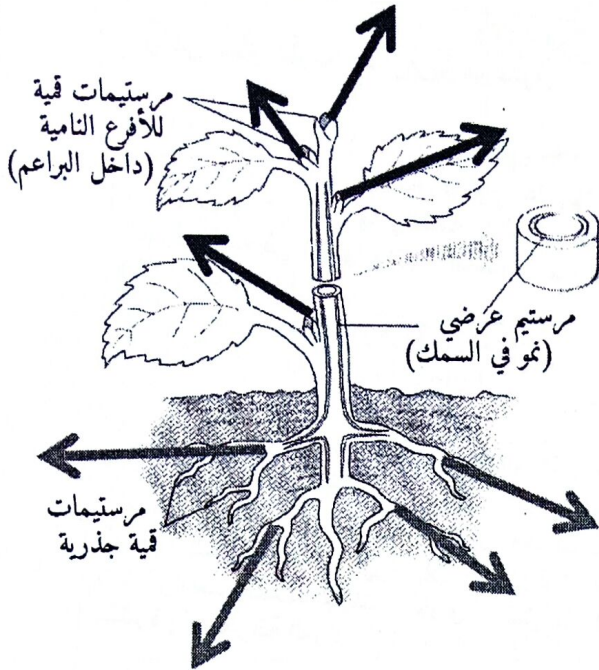
1. على نوعية رديئة جدا، لأن هذه البذور المستوردة غير ثابتة وراثيا (Variétés non stable génétiquement)
2. إما أنه تم إدماج مورثة " الترميناتور " *Gène Terminator* باستعمال الهندسة الوراثية في البذور المحورة وراثيا " *Graines OGM=Organismes Génétiquement Modifiés* " تسبب العقم الوراثي التام لبذور الجيل الأول، أي أن هذا النوع من البذور ينتج محصولا واحدا فقط موجه للاستهلاك لا غير. والغرض من كل ذلك هو إبقاء حكومات وشعوب العالم الثالث رهينة الأمم القوية تكنولوجيا ضمن سياسة العولمة أو البقاء للأقوياء. ولقد صدق من قال " لا استقلال لشعب غذائه وراء الحدود"، ويقول المصطفى [لا خير في قوم يأكلون مما لا يزرعون، ويلبسون مما لا ينسجون]، صدق رسول الله (ص).

ملاحظة- عدم احترام قضاء فترة سبات البذور (الجنيني) يؤدي حتما إلى موتها، كما في حالة الانبات القصري لبذور تفاح سابتة:



أحسن المواقع الإلكترونية البيداغوجية:

- <http://www.seedbiology.de/structure.asp>
- http://uel.unisciel.fr/biologie/module1/module1_ch04/co/apprendre_ch4_08.html
- http://www.afil-id.org/~ftp_bio/index.php?rub=principaux-phyllums-vegetaux&pg=les-angiospermes&spg=b-cycle-developpement-angiospermes



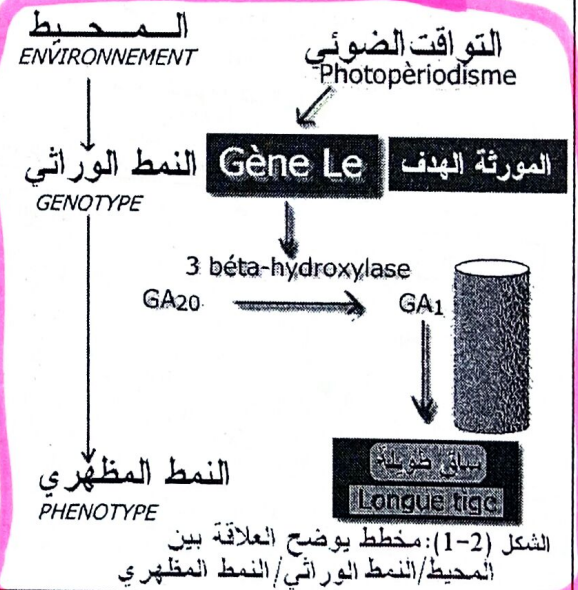
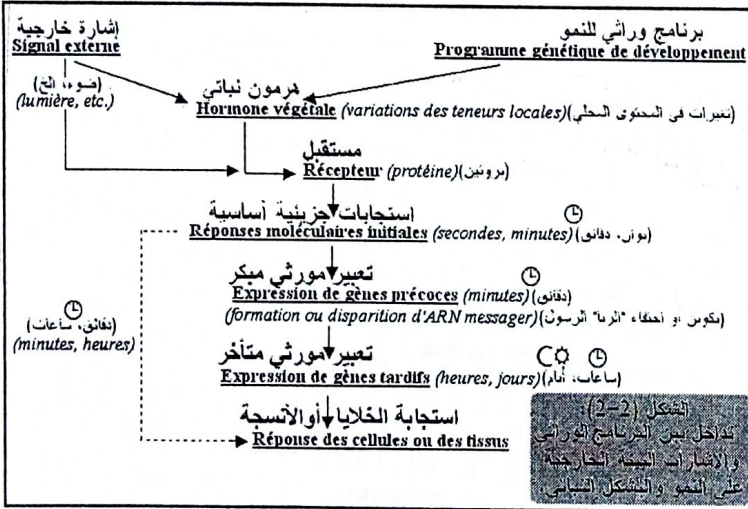
الهدف: إن تشييد هندسة بنية النبات ومظهره، ناتج عن نمو وتفرع السيقان والجذور؛ فمثلا يصل معدل نمو ساق الخيزران إلى 60 سنتيمترا في اليوم؛ بينما تنتج جذور الذرة الفتية ما يقرب من 20.000 خلية جديدة في الساعة. إذن، أين توجد مناطق النمو الطولي في السيقان والجذور؟ كيف يعمل التشكل النباتي، ظاهرة تجمع بين الانقسام والاستطالة وتمايز الخلايا؟ أين يوجد مقر نمو البنية الثانوية؟ وماذا ينتج عن نشاطهما؟ ج: الشكل المجاور.

مقدمة: عادة ما ينطوي نمو النبات، على الزيادة في عدد وحجم الوحدات الموجودة (الخلايا والأعضاء) وتشكيل وحدات جديدة والتي بدورها تتغير تدريجيا. تمر كل خلية خلال تطورها، من خلال سلسلة من المراحل تحدث فيها زيادة مذهلة في كثير من الأحيان، حيث تتضاعف عشرات أو حتى مئات المرات، مقارنة بالحجم الأولي، ونميز بشكل كلاسيكي: أ- زيادة الكتلة البروتوبلازمية التي تتم عن طريق الانقسام الخيطي (من الاغريقية *mitos* : أي خيط إشارة إلى الصبغيات) أو التكرار (*mérèse*)؛ ب- النمو الذي ينتج عن زيادة حجم الخلايا أو الأوكساز (من الاغريقية *auxos* : أي ازدياد أو اضافة). وهذه الظاهرة أساسية ومميزة جدا.

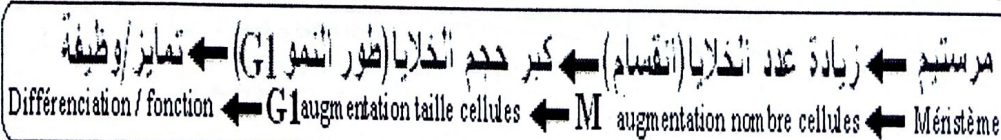
تعريف النمو النباتي لنبات ما: هو مجموع التغيرات الكمية غير الرجعية للنبات والتي تنتج مع مرور الوقت. (عدة تعاريف المحاضرة) وتتضمن: [التضاعف الخلوي] و [تطاول السليميات والجذور والتفرعات] و [تضاعف ونمو الأوراق] (لاحظ الشكل السابق).

أما في فسيولوجيا النبات، يعني النمو دراسة كل التحورات الكمية والنوعية لدى النبات (من الإخصاب إلى غاية الشيخوخة والموت). تمثل التحورات الكمية مرحلة النمو (تتم التغيرات اللارجعية مع مرور الزمن). فمثلا لدينا زيادة في القد، الحجم والكتلة. نتكلم عن التمايز عندما يشارك الجزء المأخوذ في التحورات الكمية على التفوق في اكتساب العضو الخصائص المورفولوجية والوظيفية.

المظاهر المورفولوجية (الشكلية):



يطلق على تشييد الجهاز الخضري أو الإعاشي مصطلح التشكل النباتي "morphogenèse végétale". إنها عملية تراكم بين النمو والتمايز. ومن بين العوامل الخارجية التي تساهم في التشكل النباتي نذكر، الحرارة، طول الموجة، الشكل (1-2)، حضور أو غياب الماء ... بينما العناصر الداخلية فهي تتمثل بالخصوص في الهرمونات النباتية "phytohormones"، الشكل (2-2). تستمر عملية التشكل لدى النباتات خلال كل مرحلة حياة النبات، بينما لدى الحيوانات تتشكل الأعضاء خلال مرحلة النمو الجنيني، ولا يبقى سواء النمو، وعلى العكس من ذلك تعطي النباتات باستمرار الأوراق، الجذور، الثمار ... الخ. ويتحكم في المدد الخلوي للتشكل النباتي المرستيمات الابتدائية بالدرجة الأولى المسؤولة عن النمو الطولي للأعضاء النباتية، وفق المخطط التالي:

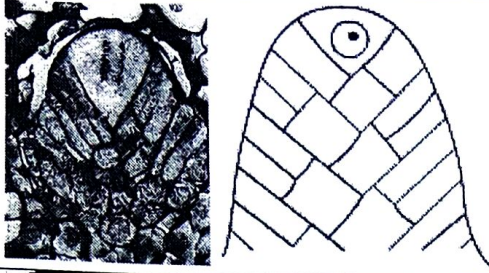


مميزات الخلايا - وظائف

إن تشكل المرستيمات مقرات نشاط النمو التي تتبع بالتمايز والتخصص الخلوي ضمن الأنسجة المستدامة في جميع الأعضاء المشكلة لبنية النبات؛ وعليه سنشرح عمل القمم النامية في الساق والجذر، لدى النباتات اللازهرية الوعائية والنباتات الزهرية، وفق النظريات القديمة والحديثة نسبيا.

أولاً: لدى النباتات اللازهرية الوعائية Cryptogames vasculaires

1- في الساق النباتات اللازهرية الوعائية:



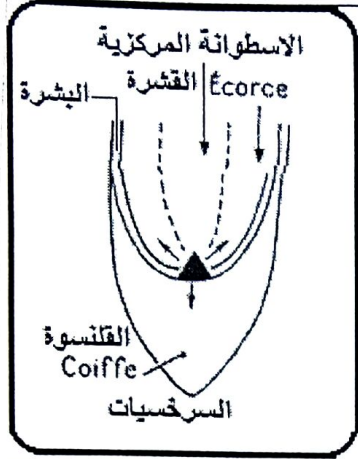
نظرية الخلية القمية Théorie de la cellule apicale

مفادها: أن القمة النامية للساق تحتوي على خلية واحدة كبيرة تحتل مركز القمة، ينجم عن نشاطها وانقسامها تشكيل كل أنسجة النبات، وتختلف الخلية القمية في شكلها واتجاه انقسامها من مجموعة إلى أخرى ضمن النباتات اللازهرية.

2- في الجذر النباتات اللازهرية الوعائية:

نظرية الخلية القمية Théorie de la cellule apicale

مفادها: أن القمة النامية للجذر، تحتوي على خلية واحدة هرمية ذات محور رباعي الانقسام "quadridirectionnelle" ينجم عن نشاط انقسامها خلايا بنيت تساهم في تكوين مختلف أجزاء الجذر، بحيث أن الواجهة السفلية تختص في تكوين القلنسوة "Coiffe" بينما ينجم عن نشاط وانقسام الثلاث جهات الأخرى تشكيل كل أنسجة الجذر (البشرة، القشرة والأسطوانة المركزية).

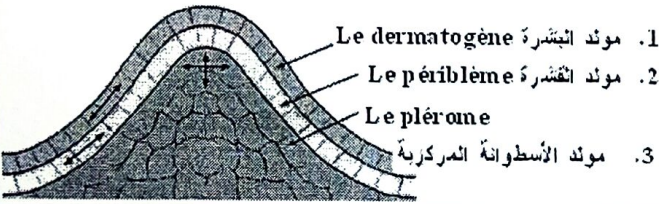


ثانياً: لدى ساق النباتات الزهرية Phanérogames

1. - نظرية نمو الأنسجة (HANSTEIN, 1868)

Théorie des Histogènes

مفادها: أن القمة النامية تحتوي على ثلاثة طوابق من الأنسجة متواضعة فوق بعضها البعض، يمثل نشاطها وانقسامها مصدر مختلف أنسجة نمو الساق وهي على الترتيب من الأعلى نحو الأسفل:

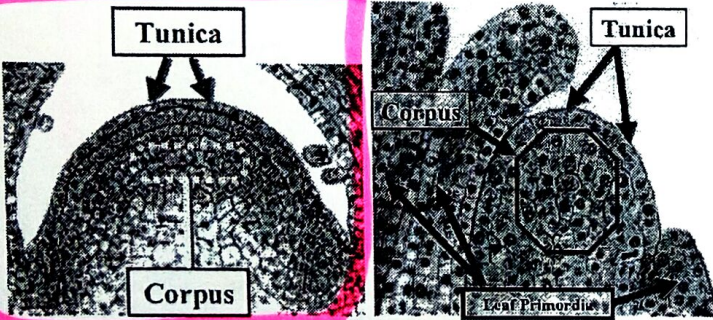


إن عدم ملاحظة هذه النظرية، لدى الغالبية العظمى من النباتات الزهرية، قاد إلى طرح نظرية القميص والبدن.

2. - نظرية القميص (=الغلاف) والبدن (SCHMIDT, 1924)

Théorie de la "TUNICA" et du "CORPUS"

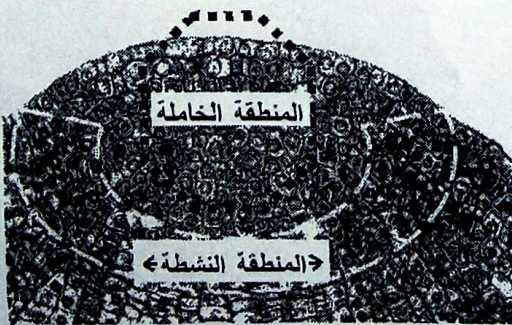
مفادها: أن القمة النامية للساق، تحتوي على منطقتين مميزتين، الخارجية وتدعى القميص، وهي مكونة من صف واحد (يمينا)، أو عدة صفوف (يسار)، وتنقسم بشكل موري للسطح، وتساهم في تكوين البشرة والقشرة، وقد تساهم في أنواع معينة بتشكيل الأجزاء الخارجية من الأسطوانة الوعائية، بينما يتكون البدن من كتلة خلوية، تنقسم باتجاهات متعددة، تعطي ميلادا للأسطوانة المركزية.



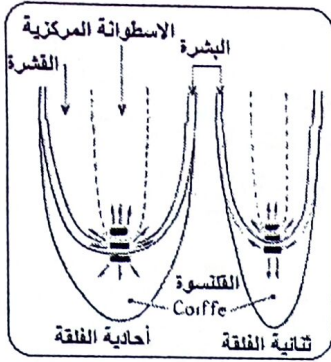
3. - نظرية نمو المناطق (PLANTEFOL, 1948)

Théorie de la "ANNEAU INITIAL"

مفادها: أن الدراسات الخلوية والنسجية باستعمال النظائر المشعة أثبتت بأن القمة النامية للعديد من النباتات معراة ومغطاة البذور، تحتوي على خلايا خاملة "zone quiescente"، تليها نحو الأسفل منطقة جد نشطة في الانقسامات الخلوية "zone active" أو منطقة النمو "Anneau Initial"، فنشاطه يعطي ميلادا للأوراق، القشرة والسلميات "entre-nœuds"، وتحتوي هذه المنطقة في مركزها على كتلة خلوية تدعى المرستيم النخاعي "méristème médullaire"، تظهر عند إجراء مقاطع طولية وعرضية، مسؤولة عن تكوين النخاع "moelle".



ب.- في الجذر 1.- النظريات القديمة:



كان يعتقد بأن القمة النامية للجذر في مغطاة البذور (أحاديات وثنائيات الفلقة) تحتوي على ثلاثة طوابق من الخلايا المنشئة "Trois étages de cellules initiales" مسؤولة عن تكوين مختلف أنسجة الجذر، يختلف نشاطها بين المجموعتين النباتيتين حيث يعطي الطابق العلوي في أحاديات الفلقة نسيج الأسطوانة المركزية فقط، بينما يعطي الطابق الأوسط كل من البشرة ونسيج القشرة والطابق السفلي يعطي نسيج القلنسوة. أما لدى ثنائيات الفلقة، يعطي الطابق العلوي نسيج الأسطوانة المركزية فقط، بينما يعطي الطابق الأوسط نسيج القشرة فقط والطابق السفلي يعطي كل من نسيج البشرة والقلنسوة.

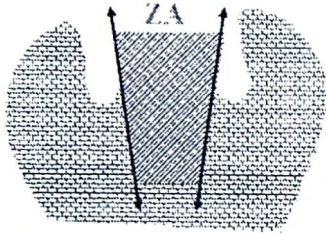


ب.- في الجذر 2.- الدراسات الحديثة:

مفادها: لدى معراة البذور ومغطاة البذور، تتكون القمة النامية للجذر من نسيج مولد متعدد الخلايا أي (المرستيم الجذري)، بحيث تقوم الجهة الأمامية نحو الأسفل من المرستيم "calyptrogène" بضمان تشكيل وإعادة تجديد القلنسوة. بينما تعطي المنطقة نحو الأعلى خلف مولد القلنسوة الأسطوانة المركزية وفي المناطق الجانبية تعطي القشرة. ويوجد في مركز هذا المرستيم منطقة نادرة ما تنقسم خلاياها، يعرف بالمركز أو المنطقة الخاملة "centre quiescente".

أولا: تجارب نزع أجزاء من المرستيم

1- نزع المنطقة المحورية (Excision de la zone axiale (ZA))



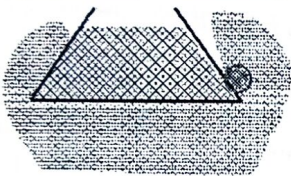
بعد التئام الجرح و الانقسام:



فحصل على قمتين ناميتين من المنطقتين الجانبيتين؛ بحيث يتحول المرستيم الجانبي إلى مرستيم محوري لكليهما.

2- إذا ترك جزء من المرستيم المسؤول عن مصدر الإوراق.

Si on laisse la partie du méristème responsable de l'initiation foliaire.



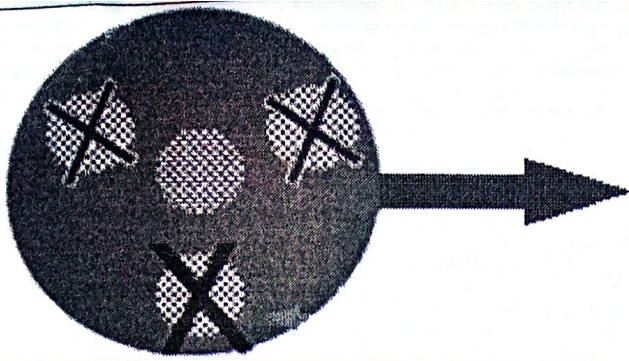
بعد التئام الجرح و الانقسام:



فنشاهد إعادة تنظيم القمة وتنمو الأوراق بشكل طبيعي.

ثانيا: تجارب لوازو على قمة نبات البلسان Expériences de Loiseau sur la Balsamine

مخطط للتجربة	النتيجة	التجربة
<p>3 مراكز ورقية 3 CENTRES FOLIAIRES عند إزالة مركز LORSQU'ON ENLEVE UN CENTRE</p>	ينمو النبات بالمركزين الآخرين.	1- عند إزالة مركز 1- Lorsqu'on enlève un centre
<p>مرستيم قمي MERISTÈME APICALE عند إزالة الجزء المركزي LORSQU'ON ENLEVE LA PARTIE CENTRALE</p>	يعمل النبات بشكل طبيعي لتجديد المرستيم المركزي.	2- عند إزالة الجزء المركزي 2- Lorsqu'on enlève la partie centrale



يعمل الجزء المركزي على تجديد الثلاث مراكز الورقية.

3- عند إزالة ثلاث مراكز ورقية
3- Lorsqu'on enlève trois centres foliaires

الخلاصة: 1- تكون مراكز الأوراق مستقلة عن بعضها البعض.

2- يمكن للمنطقة الوسطى تجديد المراكز الأخرى.

3- النبات قادر على تجديد المنطقة المركزية.

ثالثا: المرستيم الجذري (1 و 2 و 3) *Méristème racinaire*

الخلاصة: 1- تكون مراكز الأوراق مستقلة عن بعضها البعض.

2- يمكن للمنطقة الوسطى تجديد المراكز الأخرى.

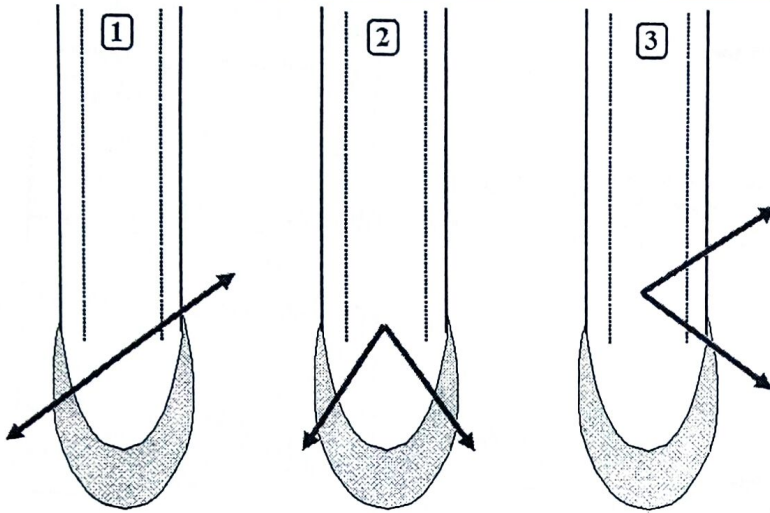
3- النبات قادر على تجديد المنطقة المركزية.

ثالثا: المرستيم الجذري (1 و 2 و 3)

Méristème racinaire (1, 2 et 3)

أحداث قطع في جذور الفول من قبل كلويس في 1953-55.

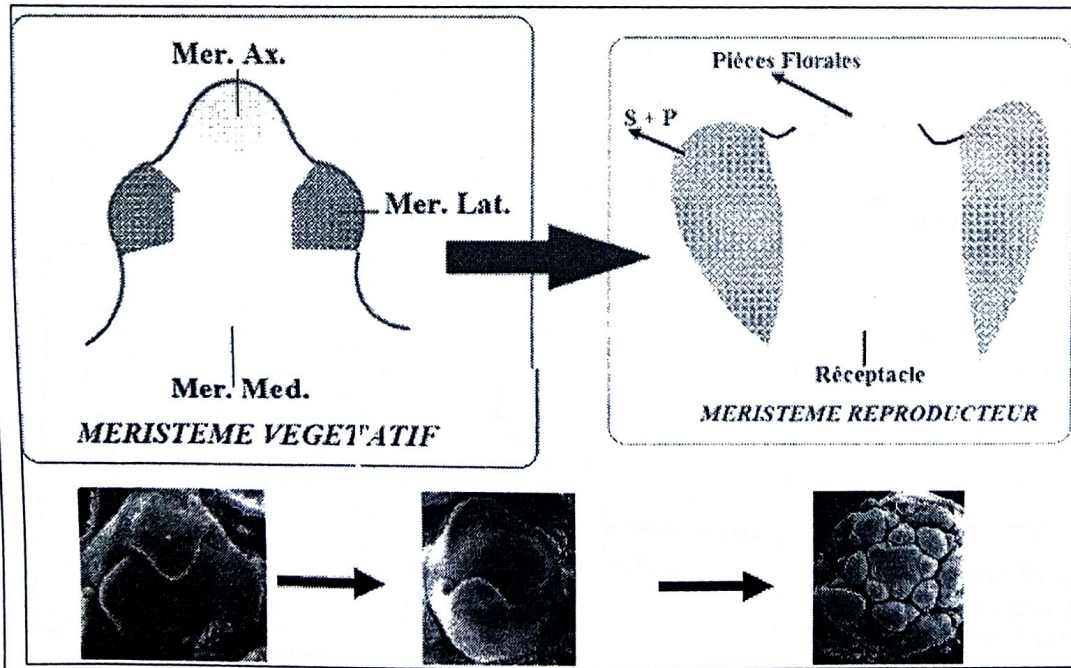
Découpages au niveau de la racine de la fève par Clowes en 1953-55.



النتيجة: في جميع الحالات هناك انقسامات وتجديد للخلايا. تكون في البداية عشوائية ثم يعيدون تنظيم أنفسهم.

Dans tous les cas il y a divisions et des cellules. Elles sont régénération anarchiques au départ puis se réorganisent.

رابعا: تحول المرستيم الخضري إلى المرستيم زهري



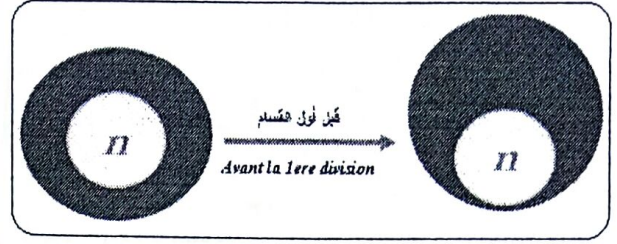
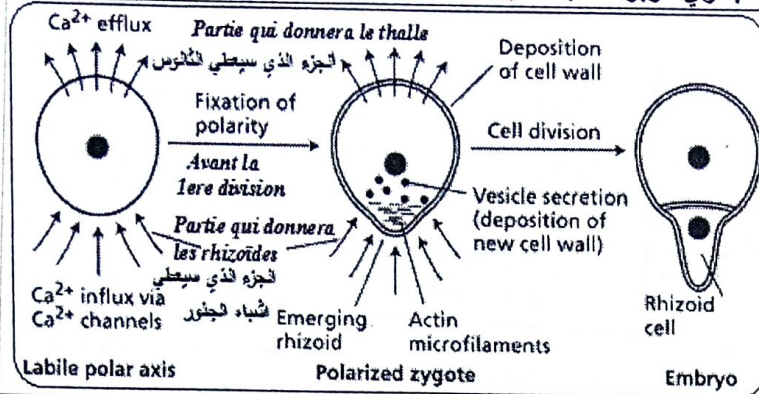
الشكل: عند توفر الشروط المناسبة (عوامل داخلية وعوامل خارجية بيئية) يغير المرستيم من نشاطه فيتحول من مرستيم خضري إلى ممرستيم زهري.

خامسا: القطبية Polarité

إنها من السمات التي تكمن في أساس التشكل وأيضا تكوين الأعضاء؛ وقد تكون على نطاق الخلية ولكن على مستوى العضو أيضا.

1- على المستوى الخلوي

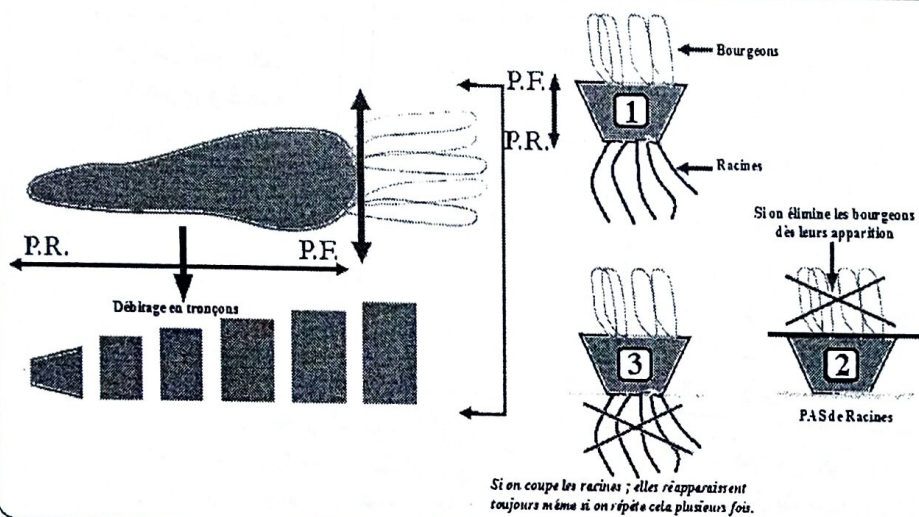
عادة ما تكون البيضة بيزاوية، ولكن قبل الانقسام، نلاحظ أن هناك توزيع غير متساو من السيتوبلازم. وبالتالي فإن القطبية تستقر من بداية الحياة. مثال على ذلك البيضة الملقحة في طحلب الفوقس البحري، وبوغة نبات ذيل الحصان.



توضع القطبية في بوغة نبات ذيل الحصان قبل حدوث أول انقسام. وتكون هذه التغيرات السيتوبلازمية ممكنة بفضل عمل الأنابيبات الدقيقة.

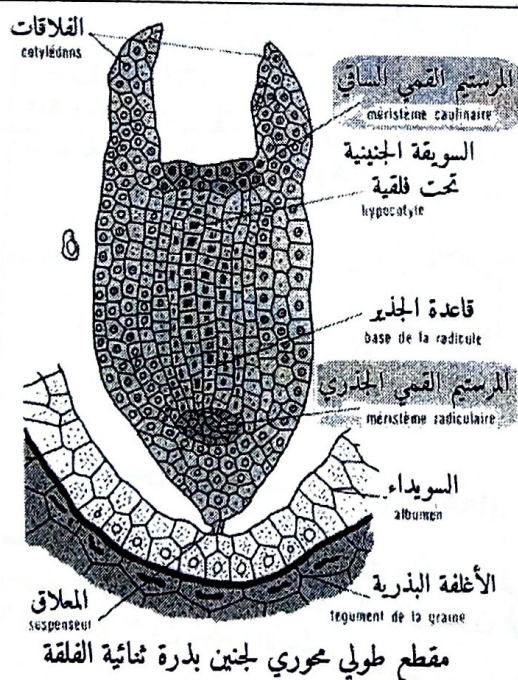
2- على مستوى تشكل الأعضاء :Au niveau organogenèse

ومثالها في جذر الهندباء المزروعة: التقطيع إلى أجزاء chez la racine de chicorée : débitage en tronçons



النتيجة:

- 1- عند وضع هذه الأجزاء في الوسط المغذي تعطي دائما براعم نحو الجزء العلوي (P.F.) وجذور نحو الجزء السفلي (P.R.)؛
- أي يتم الحفاظ على القطبية.
- نلاحظ أن البراعم تظهر أولا.
- 2- إذا تم القضاء على البراعم بمجرد ظهورها، فلا تتشكل الجذور.
- 3- إذا تم الحفاظ على البراعم مع إزالة الجذور، فإن الجذور يُعاد تشكيلها حتى ولو تم ذلك عدة مرات.



1-1- النمو الطولي أو النمو الابتدائي La croissance en longueur

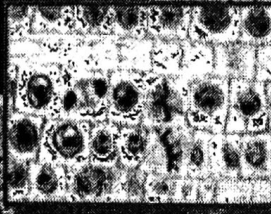
ou primaire يحدث النمو الطولي نتيجة وجود كتلة من الخلايا الجنينية الفتية في قمة كل من الساق والجذور وتعرف هذه المناطق، بالخلايا المرستيمية أو الخلايا المنشئية، فنشاطها وطريقة انقسامها المتواليين يقودان إلى النمو الطولي للأعضاء النباتية أو ما يعرف بالبنية الابتدائية للنبات. فبفضل هذه المرستيمات يكاد يكون نمو النبات على العموم غير محدود بالنسبة للأشجار المعمرة. ويترجم النمو الابتدائي بتطاول الأعضاء ويكون مقره في مستوى المرستيمات الطرفية (تشكل الأعضاء organogènes). هذا النمط من النمو أو النمو يلاحظ لدى كل النباتات، من البسيطة على هيئة أعشاب إلى غاية المعقدة على هيئة أشجار. ويوضح الشكل (2-3) موقع المرستيم والجذري والأنسجة الابتدائية الناتجة عن نشاطهما والمسؤولة عن النمو الطولي للأعضاء والنبات ككل.

وفيما يلي نعطي أشكالا تخطيطية، تحدد مناطق النمو الابتدائي في المرستيم الجذري و مراحل تطور النمو الخلوي وخاصة الجهاز الفجوي، السيتوبلازم والنواة، من المنطقة السفلية أي القننوسة رقم 1 إلى المنطقة العلوية رقم 5. الشكل (2-3) - المرستيم الجذري. تحديد مناطق النمو.

صورة فتوغرافية لخلايا في أطوار

الانقسام الخيطي بالمنطقة

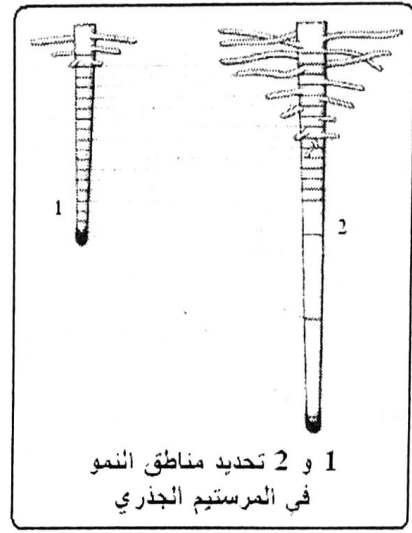
المرستمية للجذر



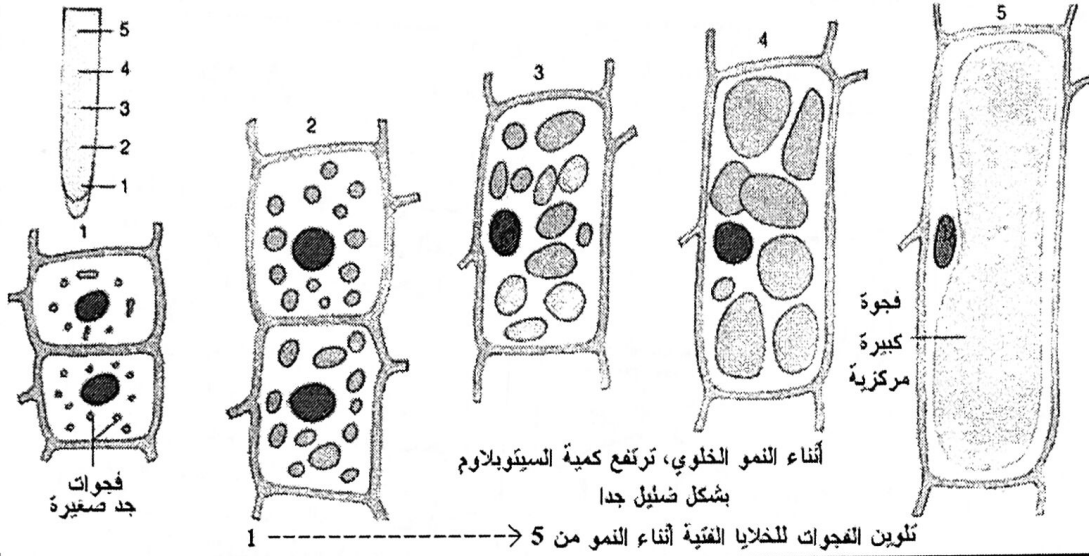
صورة مقطع طولي

لقمة الجذر من

منطقة الاستطالة إلى الفلنسة



1 و 2 تحديد مناطق النمو
في المرستيم الجذري



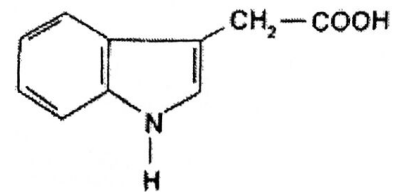
الشكل (3-2) -
المرستيم الجذري.
مراحل تطور النمو
الخلوي وخاصة
الجهاز الفجوي من
المنطقة 1 إلى 5.

أثناء النمو الخلوي، ترتفع كمية السيتوبلازم
بشكل ضئيل جدا

تكوين الفجوات للخلايا الفتية أثناء النمو من 1 إلى 5

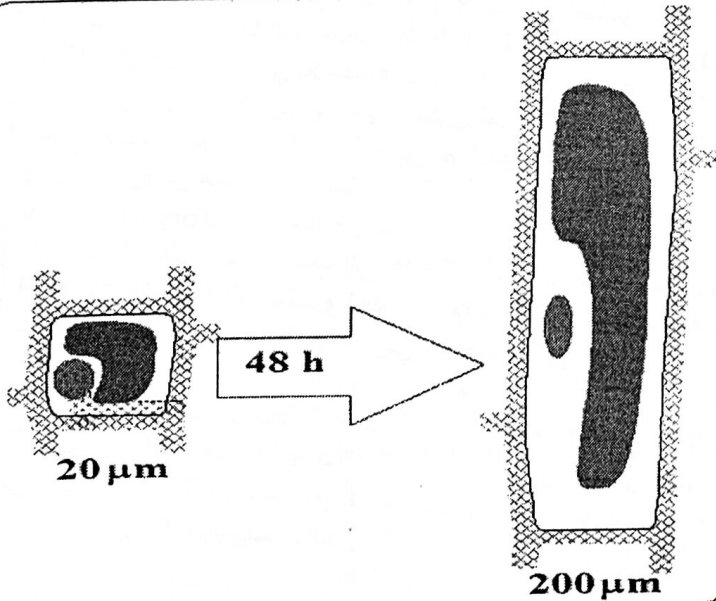
لكن كيف يستطيع الجدار البكتوسيليلوزي أن يستطيل إلى هذا الحجم؟ من هو العامل المحفز لهذه الاستطالة الكبيرة؟
ج:- ظاهرة الأوكساز: تشكل الخلايا النباتية الفتية، مقرا لنمو هام، قبل بلوغها مرحلة النضج. غالبا ما يكون هذا النمو في السيقان
والجذور أحادي الاتجاه. إنها ظاهرة الأوكساز التي تترجم باستطالة الخلية، تحت تأثير هرمون أوكسين الـ AIA، الشكلين التاليين، خاصة
الشكل الثاني الذي يضم 6 مراحل لتأثير الـ AIA.

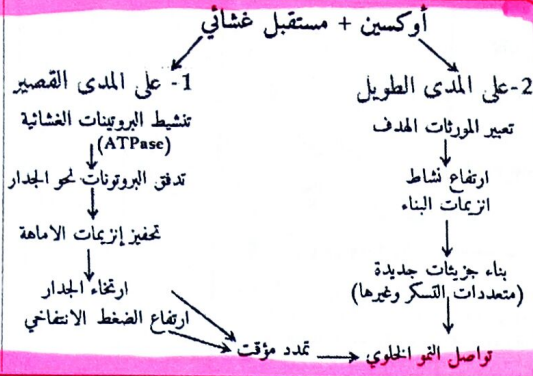
الشكل: خلية فتية ذات قد ب 20 ميكرومتر، تنمو في
الطور G1 وخلال 48 ساعة إلى خلية بالغة بقد 200
ميكرومتر، عبر ظاهرة الأوكساز تقود إلى الاستطالة
الخلوية، تحت تأثير هرمون أوكسين الـ AIA.



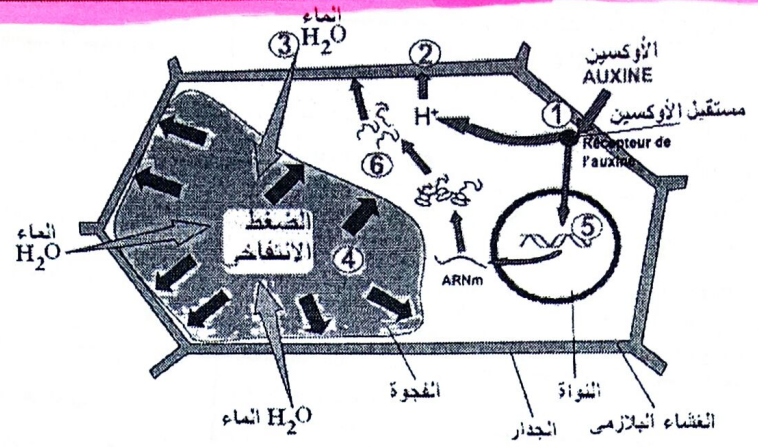
حمض إندول 3-خليك (AIA) أو (IAA).

ملاحظة: أثناء الاستطالة، عادة ما تكون الزيادة في الطول
بحوالي 200 %، بينما الزيادة في العرض تكون في حدود
10 إلى 20 % من الحجم الأصلي.



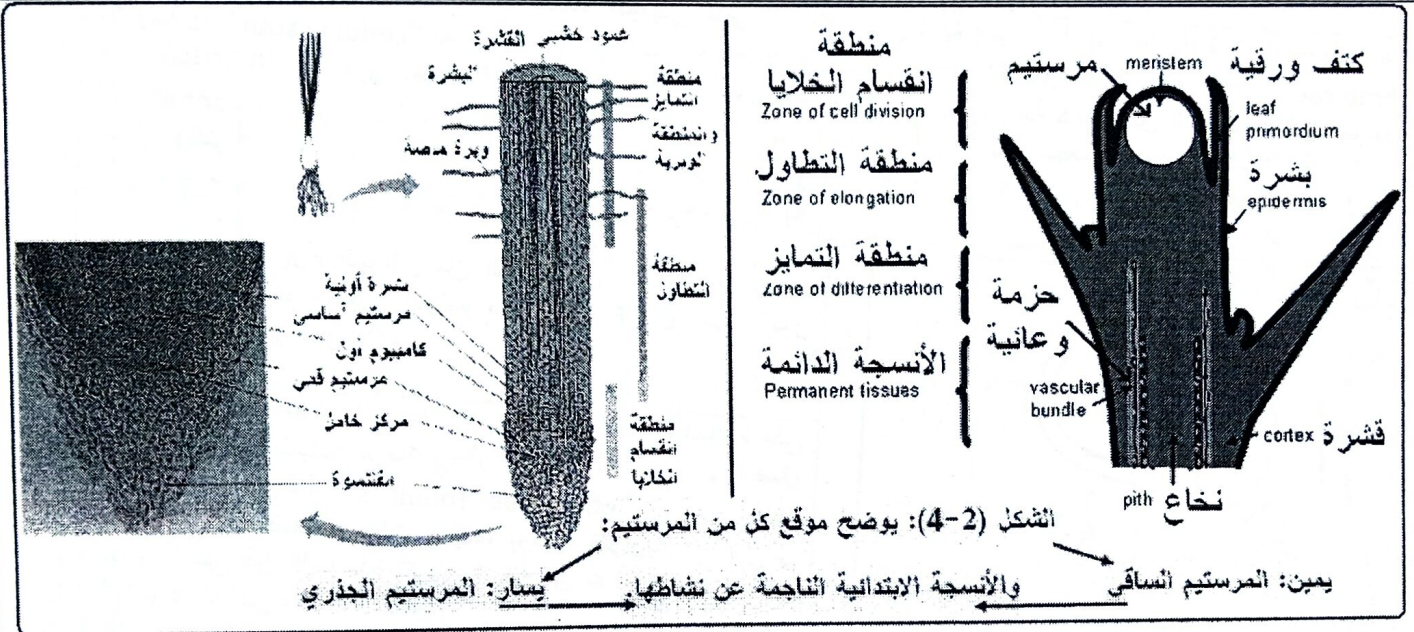


الشكل: مخطط لتأثير الأوكسين في الاستطالة الخلوية على المدى القصير وال المدى الطويل.



توضع ونشاط المرسيمات القمية:

لا يمكن تحديد توضع نشاط المرسيمات القمية أو النهائية إلا بعمل دراسة خلوية ونسجية، وخاصة النسيجية لتحديد موقع نشاطها كما هو مبين في الشكل (2-4) والجدول (1-2) الذي يوضح عمل المرسيم القمي والطبقات المولدة للأنسجة "histogènes"، وتشكل الأنسجة الدائمة "Les tissus permanents" في البنية الابتدائية.



الجدول (2-2): يوضح عمل المرسيم القمي والطبقات المولدة للأنسجة "histogènes"، وتشكل الأنسجة الدائمة "Les tissus permanents" في البنية الابتدائية.

الأنسجة الدائمة Les tissus permanents	المرستيمات الابتدائية Les méristèmes primaires	المرستيمات Les méristèmes
بشرة épiderme	بشرة أولية protoderme	المرستيم القمي Méristème apicale
القشرة cortex	مرستيم أساسي Méristème fondamental	
الدخاع moelle		
البرانشيما الشعاعية parenchyme de rayon		
لحاء phloème	كامبيوم أول procambium	
كامبيوم وعائي cambium vasculaire		
خشب xylème		

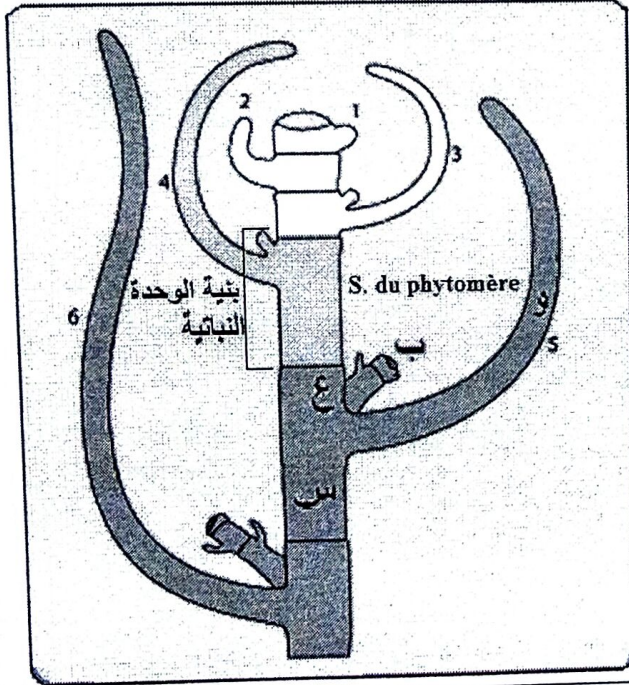
فدى النباتات الراقية "cormophytes"، داخل الأجنة الفتية الناجمة عن الببضة الملقحة "zygote" في مستوى البذرة، للخلايا تنظيم مشابه بحيث كلهن يملكن القدرة على الانقسام. تنشأ بالتدرج الحواجز فيما بينهما فتميز بعض الخلايا تعرف بالخلايا المرستيمية.

تحتفظ هذه الخلايا بمميزات الخلايا الجنينية فتشكل بؤرة تكاثر لنشاط منسق للمرستيم. يستمر عمل المرستيم مدى حياة النبات، فيعطي نوعا ما صفة التكون الجنيني غير المحدود "embryogenèse indéfinie".

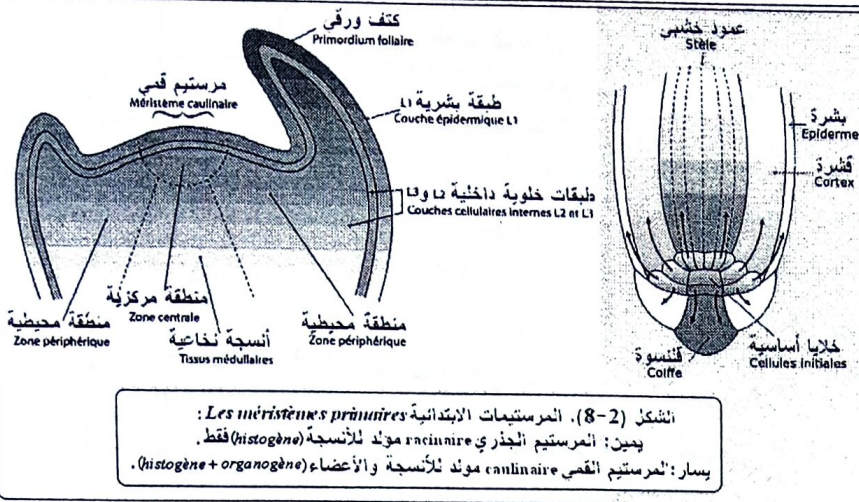
تتوضع المرستيمات في نهاية السيقان والجذور مشكلة بذلك المرستيمات القمية "méristèmes apicaux". فبنشاطها تنشأ البنية الابتدائية للنبات والتي تكون مسؤولة عن النمو الطولي للنبات. (أنظر الشكلين اللاحقين).

المرستيمات Les méristèmes: أثناء التشكل الجنيني لدى النباتات، يظهر النبات توضع لبنية بسيطة، تتعلق بعشيرتين من "الخلايا الأرومة cellules souches" تُعرف بالمرستيم القمي "méristème caulinaire" والمرستيم الجذري "méristème racinaire". هذه الخلايا الأرومة غير المتميزة تُعرف أيضا بالخلايا المنشئية والتي تتكاثر بسرعة كبيرة. كل البنات ما قبل المرحلة الجنينية "post-embryonnaires" للنباتات تنحدر من نشاط هذه المرستيمات، والتي تشكل مجموعة من الخلايا قليلة التخصص، قليلة التمايز والتي تنقسم حيث أن الخلايا المنحدرة منها، تشكل أنسجة و أعضاء. وبفضل هذه المرستيمات يحتوي النبات دائما وباستمرار على خلايا جنينية (على الأقل إلى غاية الانتقال إلى المرحلة الزهرية).

الشكل: مخطط للجزء الهوائي من النبات. س=صلمية، ع=عقدة، و=ورقة، ب=برعم جامبي. التريليم من 1 إلى 6 يدل على ظهور الأوراق من الأصغر نحو الأكبر.



في نهاية التشكل الجنيني "embryogenèse"، تحتوي البادرة على الأسس التنظيمية للنبات: مرستيم جذري ومرستيم قمي على اتصال مع البدئات الورقية "ébauches foliaires". ينمو الجهاز الهوائي للنبات بإضافة وحدات جديدة، بوتيرة تكرارية. فمثلا على مستوى الساق فإن كل وحدة تكون مكونة من عقدة تضم ورقة في إبطها برعم جانبي وكذلك الصلمية المناظرة لها، الشكل (2-7). من ضمن مختلف الأنواع النباتية، يوجد تنوع كبير في الشكل استنادا إلى الشكل السابق. يسمح هذا النوع التكراري بتضخم هام لعدد المرستيمات المهيأة وقدرتها على إعادة بناء كلي أو جزئي للأجزاء المحطمة، هذه القدرة أو الكفاءة النوعية والهامة بالنسبة لكانن مثبت لا ينتقل، والذي لا يستطيع الفرار أمام العقبات البيئية الحيوية واللاحيوية.

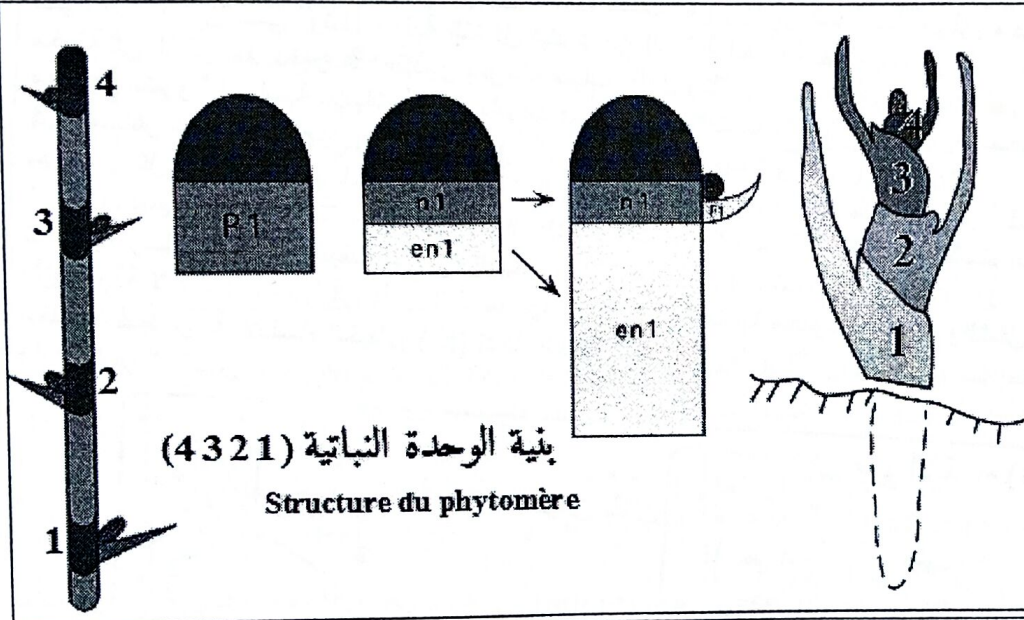


عرف نمطين أساسيين من المرستيمات الابتدائية: القمية "caulinaire" والجذرية "racinaire"، الشكل (2-8). توجد ميزتان أساسيتان تميز هذين النمطين من المرستيمات حسب الدور:

المرستيم القمي "caulinaire" له دورين، أحدهما مولد للأنسجة "histogène" (كالأنسجة الناقلة، ...) والآخر مولد للأعضاء "organogène" (براعم، أوراق، ...)، وتشكل الأنسجة مع الأعضاء تعطي بنية تعرف بالوحدة النباتية $\text{phytomère} = \text{سلمية} + \text{عقدة} + \text{برعم} + \text{ورقة}$ ، (أنظر الأشكال اللاحقة)، ينجم عن تكوين الوحدات النباتية (phytomères) تشكيل البنية الابتدائية التي تترجم بالنمو في طول النبات.

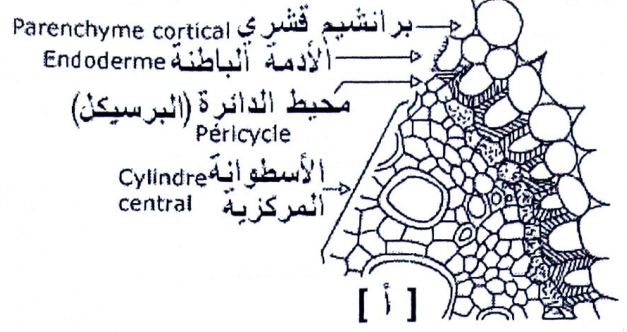
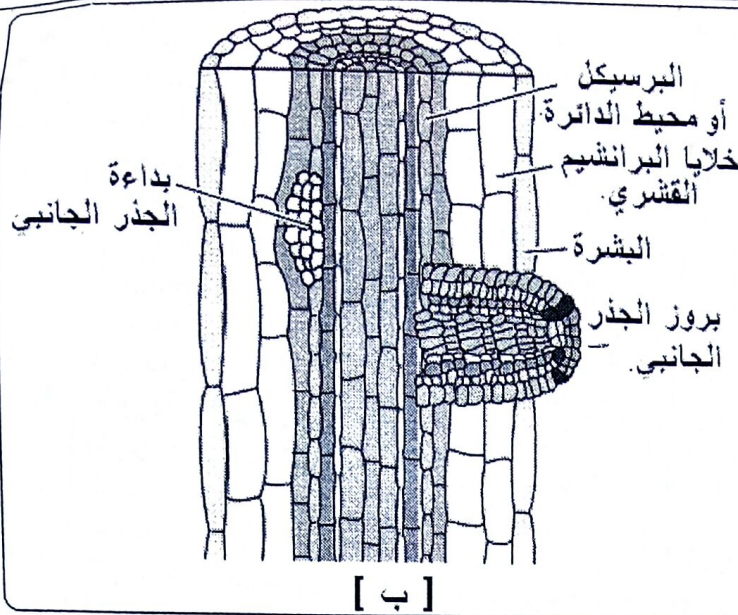
على العكس المرستيم الجذري "racinaire" الذي تنحصر مهمته في دور واحد وهو مولد للأنسجة فقط "histogène"؛ ففي الشكل (2-8) على اليمين تدل الأسهم على اتجاه الانقسام وكذلك بؤر الخلايا التي تنشأ منها مختلف أنسجة الجذر الابتدائي.

المرستيمات الابتدائية **Les méristèmes primaires** المولدة للأنسجة والأعضاء كما في حالة المرستيم القمي الساق (MAC) و المرستيم القمي الجذري (MAR) المولد للأنسجة فقط، وتنشأ أعضاء الجذر من محيط الدائرة (البرسيكل). وينجم عن نشاط هذه المرستيمات تكوين بنية الوحدة النباتية (phytomère)، التي تترجم بالنمو في طول الأعضاء.



ملاحظة هامة: ينجم عن تكوين الوحدات النباتية (phytomères) تشكيل البنية الابتدائية التي تترجم بالنمو في طول النبات.

حسب التمايز: يضع المرستيم القمي للجنين مباشرة مرستيمات إبطية "axillaires" (التي تعد من النمو المبرمج للنبات)، لاحظ الشكل التالي، ففي هذه الحالة لا توجد ظاهرة فقدان التمايز. كما توجد مرستيمات عرضية "adventifs" التي يمكن أن تظهر بحالة ثانوية لكن ليس في مكان اعتيادي؛ إذن تتشكل عن طريق فقدان التمايز لخلايا متميزة (مثل الجذور العرضية التي تظهر عند الفسائل). وفيما يخص الجذور، تظهر التفرعات عندما تنتهي عملية التمايز. عند ميلاد جذر جانبي أو ثانوي "racine secondaire"، يكون بالضرورة مرستيم جديد بواسطة فقدان التمايز للخلايا، في العموم يكون مصدره محيط الدائرة أو البرسيكل "péricycle"، الشكل.



الشكل (2-9): رسم تخطيطي لمقاطع في الجذر:

[أ] - جزء من مقطع عرضي لجذر نبات السوسن:

[ب] - جزء من مقطع طولي يبين تشكل جذر جانبي

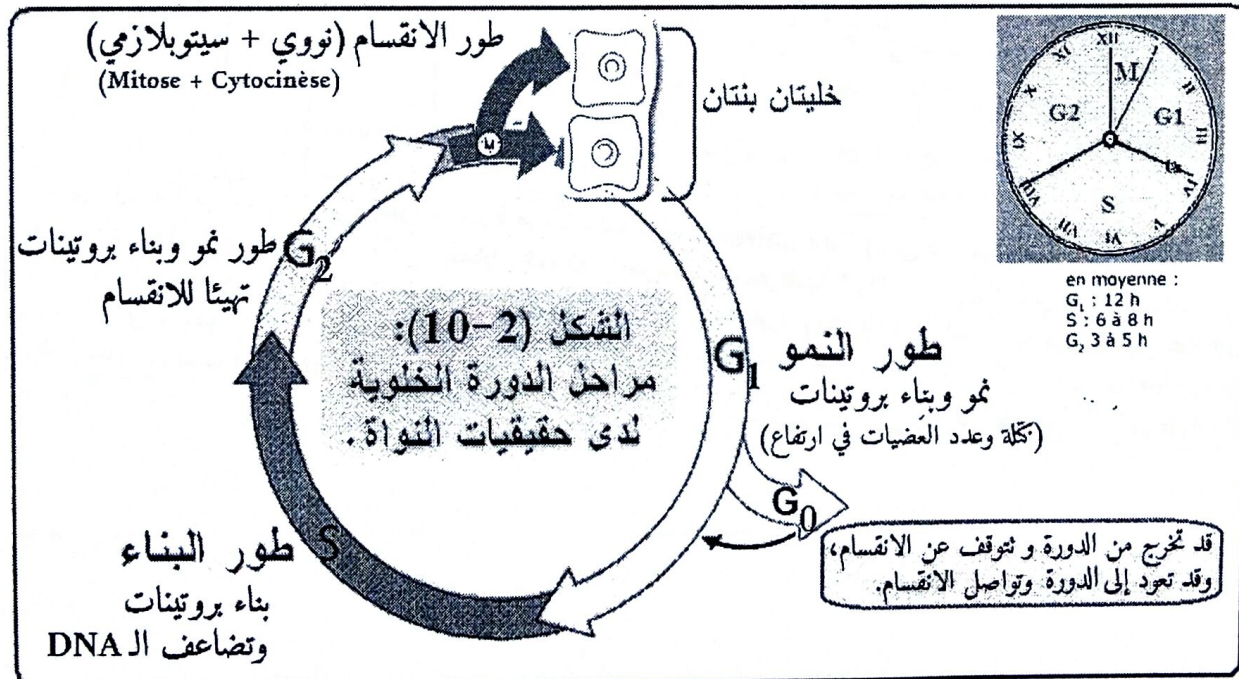
من البرسيكل عن طريق ظاهرة فقدان التمايز.

التمايز والتشكل differentiation et morphogenèse :

3-1. التمايز: هو نمو وتطور مميز لمختلف الخلايا البنت "cellules filles" المنحدرة من البويضة الملقحة "zygote" أو من فصيلة من الخلايا المختلفة (نسج). وتبعاً لنمو هذه الأنسجة المختلفة تنظم فيما بينها مشكلة عضواً مميزاً، مما يقودنا إلى الانتقال لمصطلح العضوي "organisation" بدلاً من المصطلح الأساسي التمايز "différenciation". فعندما يصاب النبات بمختلف الجروح، بعض خلايا النسيج المصاب يمكنها أن تفقد التمايز (انظر هذا المصطلح) وتعطي خلايا مختلفة عنها تماماً.

3-2. التشكل: آليات انقسام وانتظام تتم من خلالها الخلايا الجنينية أو المرستيمية وفق محاور مضبوطة أثناء انقسامها لتعطي شكلاً مميزاً لذلك الكائن الحي. وتبدأ عملية التشكل ابتداءً من البويضة الملقحة حيث يتكون بذور محتوية على جنين البذرة ومواد ذخيرية مخزنة في الفلقات، فقد تمر هذه البذور بمرحلة سبات تطول وتقصّر حسب الأنواع النباتية، وعند انقضاء هذه الفترة ويتم رفع السبات مع توفر الشروط المناسبة للأنبات فتعطي بادرات ذات شكل يختلف حسب الظروف البيئية المحيطة بالبادرة.

4- المظاهر الخلوية Mécisis و Auxésis و Dédifférenciation و Totipotence. يجب على كل خلية أن تمر بسلسلة من المراحل التي تتعلق بتعاقب زيادة أبعاد هذه الأخيرة. فنشاهد مراحل مختلفة: 4-1- الميسيز Mécisis: تكاثر الخلايا، تشكل ظاهرة "الميسيز" انقسام الخلايا أو الانقسام الخيطي، والتي تتم في مناطق متخصصة، تدعى بالمرستيمات والتي سبقت الإشارة إليها، باستثناء الأوراق أين تكون الانقسامات موزعة على مستوى سطح النصل، مما يفسر بأن الورقة لا تحتفظ بخلايا في طور الانقسام وبالتالي فإن انقسامها محدود بالزمان. والشكل (2-10) يوضح مختلف مراحل الدورة الخلوية، فبعد نهاية الانقسام الخيطي (M) تدخل الخلية مباشرة في طور النمو، وعندها تحدد إما أن تخرج من الدورة وتذهب للتخصص وإما متابعة الانقسام.



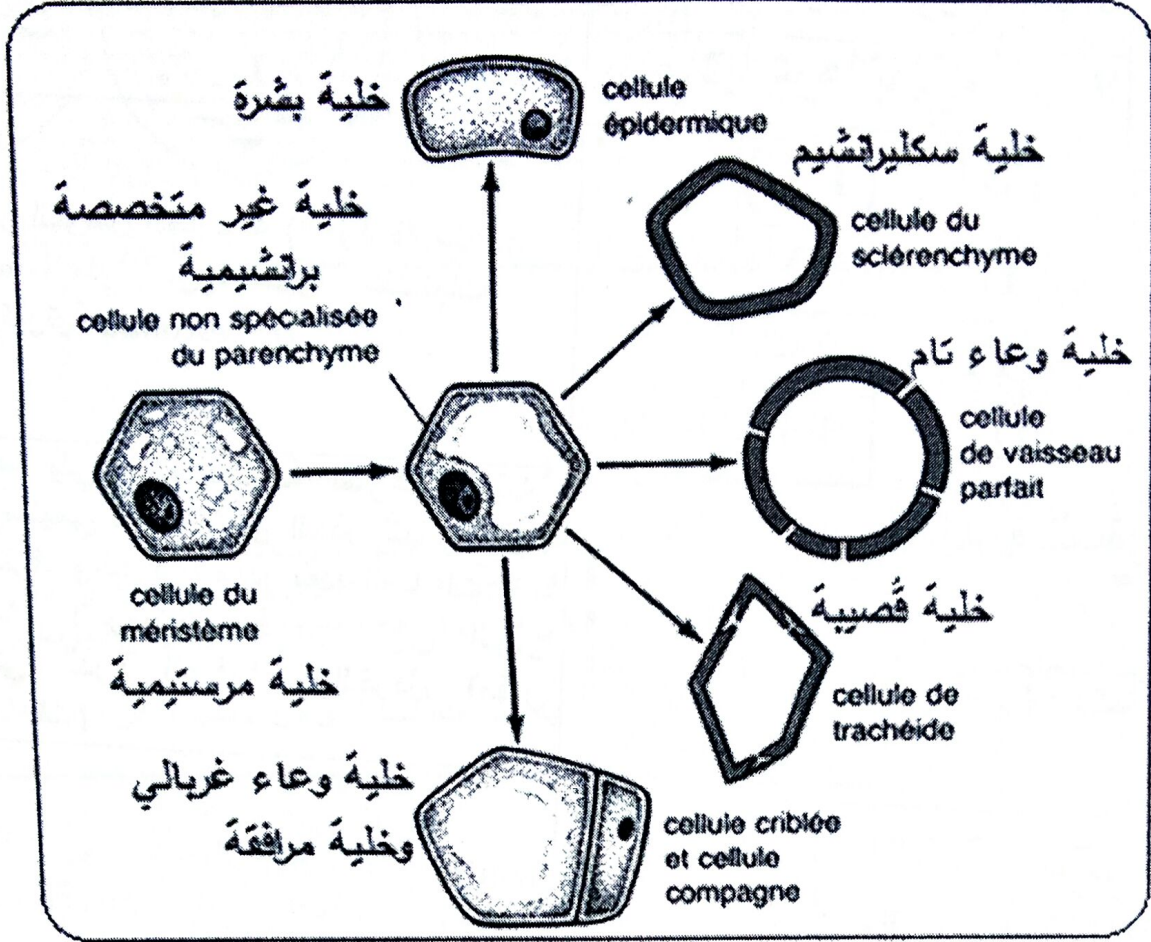
الدورة الخلوية: هي دورة نمو وانقسام تتكاثر فيها الخلايا، وتمر الخلية في كل مرة بدورة كاملة لتصبح خليتين بنتين. تكرار دورة الخلية يؤدي إلى < استمرار إنتاج الخلايا الجديدة. وتمر دورة الخلية بثلاث مراحل هي:

1- الطور البيني interphase (G2 + S + G1)

2- الانقسام المتساوي (الخيطي) mitosis = mitose

3- انقسام السيتوبلازم cytokinesis = cytokinèse

ملاحظة: عندما تتوقف الخلية عن الانقسام (الطور G_0)، فتخرج من الدورة الخلوية، فتأخذ وظيفة منطوية لها ضمن نسيج محدد. لكن كيف نفسر التباين الشديد - بعد التمايز - بين هذه الخلايا النباتية، علما بأنها منحدره من أصل واحد؟ الجواب المخطط التالي، في كل حالة هنالك مجموعة من المورثات تنشط وتختلف من حالة إلى أخرى، وبقية المورثات تكون في حالة ساكنة أو مثبطة من طرف الخلية.



4-2- الأوكساز Auxésis: الزيادة أو النمو في سعة الخلايا. وقد تكون متساوية الأبعاد (برانشيم الأوراق، القشرة أو في الأعضاء الخازنة)، لكن في الغالب يكون طويلا (تطاول) أو شعاعي (النمو في السمك). فتظهر لدى النباتات مميزات خاصة بحكم تواجد الجدار البكتوسيليلوزي.

4-3- فقدان التمايز Dédifférenciation: ظاهرة تخص الخلايا النباتية التي سبق تمايزها، بحيث يعاودها الشباب أي العودة إلى الحالة الجنينية أو المرستيمية النشطة وهي القدرة على الانقسام وإعطاء أنسجة جديدة، فيتبع ذلك بتحورات جذرية في بنيتها تتوافق ووظيفتها الجديدة المنطوية لها.

4-4- القدرة الذاتية للخلايا النباتية La totipotence des cellules végétales: إن الخلايا النباتية المأخوذة من عضو ما على النبات، تحتوي على قدرة تجديد لإعطاء فردا كاملا مشابهها تماما للنبات الأم. إنها القدرة الذاتية "totipotence" للخلايا النباتية. فهي ترتكز على القابلية لفقدان التمايز "dédifférenciation": يمكن للخلايا أن تعود إلى خلايا بسيطة، غير متخصصة ثم تتمايز لاحقا لتعطي من جديد الأنماط المختلفة للخلايا المتخصصة.

وفيما يلي نقدم جدولين، أحدهما يوضح اختلاف المدة الزمنية بالساعات، للدورة الخلوية؛ والآخر يوضح تأثير العوامل الخارجية (الحرارة) على المدة الزمنية للدورة الخلوية عند النباتات:

عندما تصل الخلية إلى أقصى حجم لها فإما أن:

تنقسم (أي تدخل في الطور S) لإكمال الدورة الخلوية أو تتوقف عن النمو (الطور G_0)، فتخرج من الدورة الخلوية، فتأخذ وظيفة منطوية لها ضمن نسيج محدد.

أهمية الانقسام : 1- يمنع الخلية من زيادة حجمها كثيرا؛

2- يمثل آلية التكاثر في الخلية.

المجموع	M	G2	S	G1	طبيعة الخلايا
15	2	5	8	0	خلايا نموها سريع
174	3	11	9	151	خلايا نموها بطيء

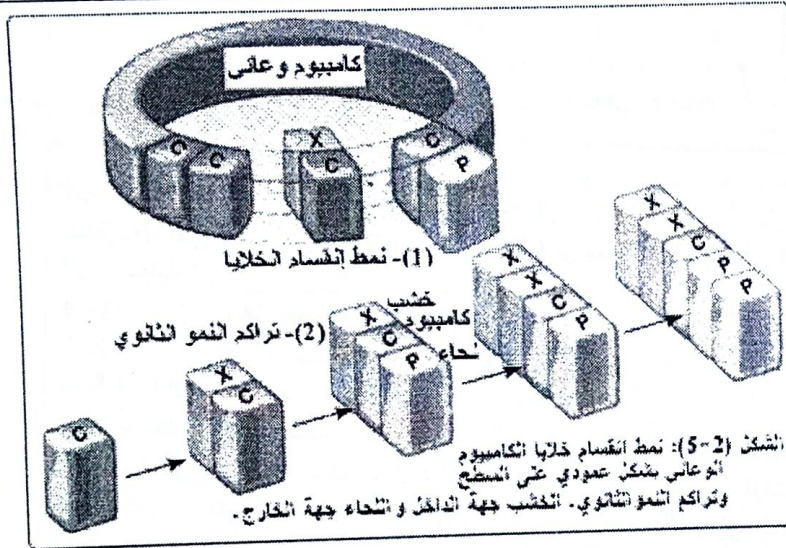
اختلاف المدة الزمنية بالساعات، للدورة
الخلوية لدى نبات الذرة الصفراء *Zea mays*

المجموع	M	G2	S	G1	(T°C)
16 س	2	2	10	2	30°
21 س	2	2	11	6	21°
51 س	5	8	23	15	13°

تأثير العوامل الخارجية (الحرارة) على
المدة الزمنية للدورة الخلوية عند نبات
العنكبوتية *Tradescantia*.

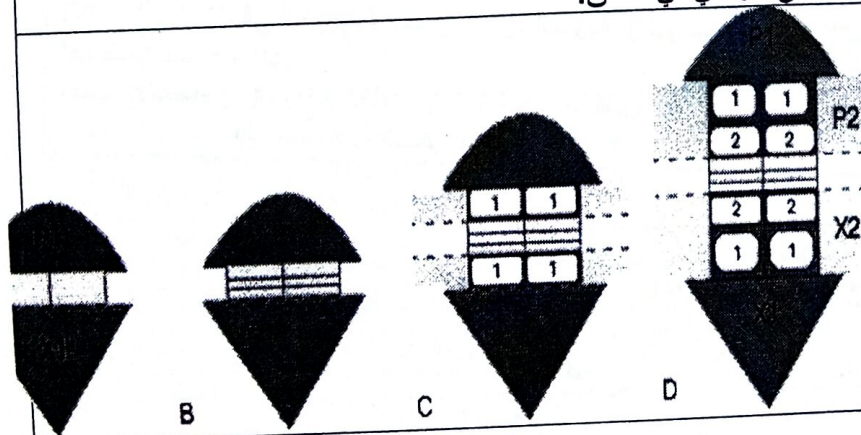
الذرة الصفراء	الخردل
منطقة النمو Z.P.	25 س
المركز الحامل C.Q.	200 س
القلنسوة Coiffe	12 س
	35 س

وفيما يلي نقدم مقارنة لسرعة النشاط
المرستيمي في مستوى الجذر لنباتي الذرة
الصفراء والخردل، مقدر بعدد الساعات:
النشاط المرستيمي في مستوى الجذر
لنباتي الذرة الصفراء والخردل (مقدر
بالساعات)

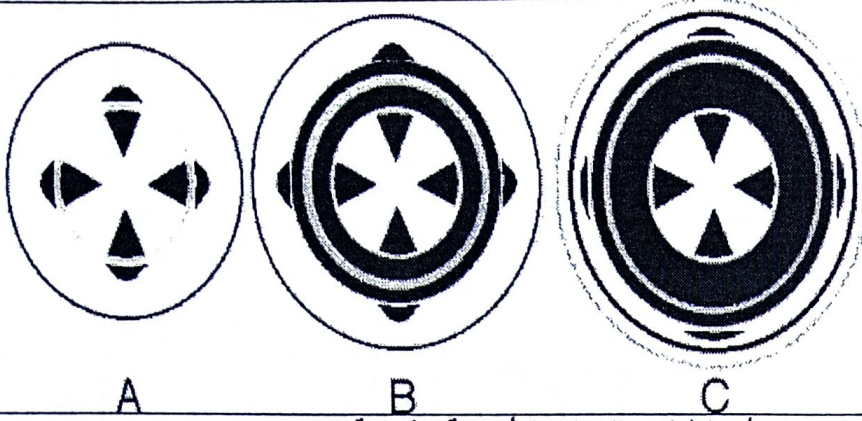


لاحقا المرستيمات الثانوية "méristèmes
secondaires" أو الطبقات المولدة
"zones génératrices"، يمكنها أن
تدخل في النشاط وبذلك تكون مسؤولة على
نمو جديد (النمو في السمك) *croissance en épaisseur*
الذي يكون مهما في النباتات
الشجرية والخشبية الشكل (2-5)، والشكل
(2-6).

تتلقى العشائر الخلوية الناجمة عن هذه المرستيمات توجيهات مختلفة وتدرجية. يطلق مصطلح تحديد الوظيفة، على الآليات التي تتلقى
من خلالها توجه الخلايا نحو متتالية من الحوادث الجديدة والتي في نهايتها تأخذ الخلايا تخصصا نوعيا، كما في حالة تكوين الخشب
واللحاء الابتدائيين في البنية الابتدائية وتكوين الخشب واللحاء الثانويين في البنية الثانوية كما هو موضح في المخططين التاليين، على
مستوى مقطع عرضي في الحزمة الوعائية وعلى مستوى مقطع عرضي في الساق:



في الأعلى- من A إلى C : مخطط لحزمة وعائية
يظهر فيها الانتقال من البنية الابتدائية إلى البنية
الثانوية؛ X1 = خشب ابتدائي، X2 = خشب ثانوي؛
P1 = لحاء ابتدائي و P2 = لحاء ثانوي.



في الاسفل- من A إلى C : مخطط لمقطع عرضي لساق خشبي ثنائي الفلقة، يظهر فيه الانتقال من البنية الابتدائية إلى البنية الثانوية.

إنها الزيادة في السمك، وتتم في مستوى لكامبيومات cambiums أو الطبقات المولدة للأنسجة الثانوية " Assises génératrices secondaires". وهي على نوعين:

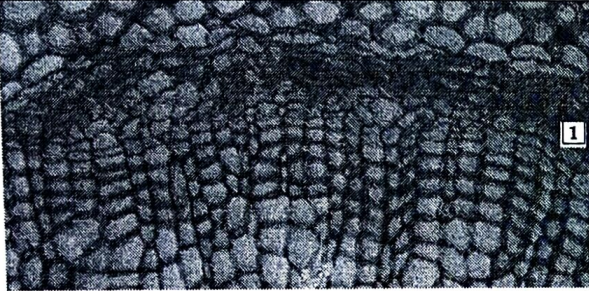
الكامبيوم = الطبقة المولدة للخشب واللحاء الثانويين

Cambium = assise génératrice libéro-ligneux.

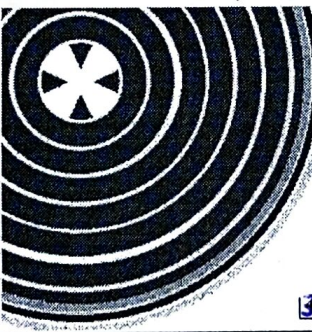
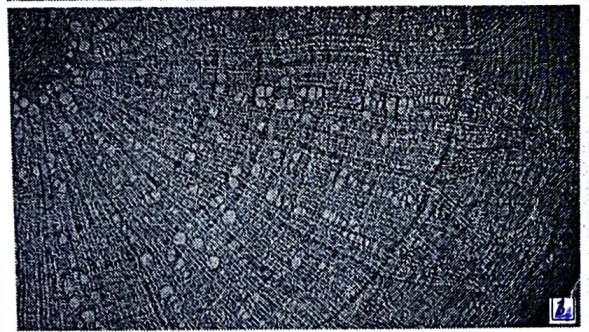
الفيلوجان = الكامبيوم الفليني = الطبقة المولدة للفلين والأدمة الفلينية

Phellogène = assise génératrice subéro-phylloidermique.

يتم هذا النوع من النمو والتطور لدى النباتات الخشبية المعمرة. يظهر هذا النوع من النمو مميزات تبادلية "commutatifs" تكرارية "itératifs" أي تتكرر عدة مرات. ينمو النبات بشكل غير محدود، لكن قدرة توسع الأعضاء تكون وقتية و كبرها يتم وفق تدرجات تكون واضحة إلى درجة ما باختلاف موجه حسب الأعضاء والأنواع. وفيما يلي نعطي شكلا (2-6) يوضح توضع المرستيم الابتدائي والثانوي الثانوي وكذلك موقع الأنسجة الثانوية في الساق. مما سبق نستنتج الأهمية البالغة التي تحظى بها المرستيمات في دورة حياة النباتات، لذلك نرى من الأهمية بمكان العودة إلى إعطاء قسطا ولو بسيطا حول المرستيمات خاصة الابتدائية.



مقطع عرضي في ساق البلسان الأسود
Sambucus nigra (X400)



مثال لظاهرة فقدان التمايز:

[1] تشكل الكامبيوم بين الحزمي من الخلايا

البرانشيمية تحت التأثير الجانبي لخلايا

الكامبيوم داخل الحزم، ليشكلا حلقة الكامبيوم

التي تعطي نحو الداخل للخشب الثانوي، ونحو

الخارج اللحاء الثانوي

[2] تشكل الفيلوجان أو الكامبيوم الفليني من

خلايا سبق تمايزها، ليعطي نحو الخارج الفلين

ونحو الداخل الأدمة الفلينية، لساق البلسان

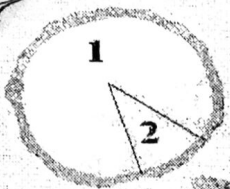
الأسود.

[3] مخطط لمقطع عرضي في ساق ثنائي

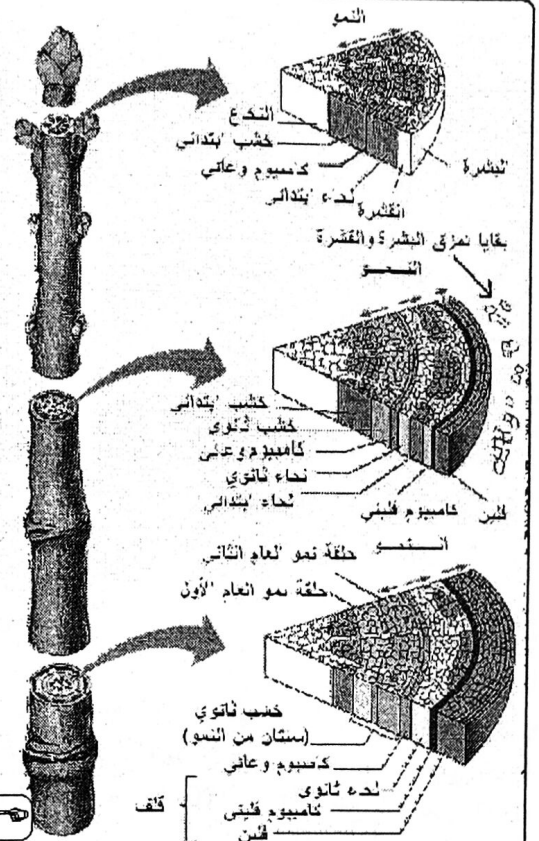
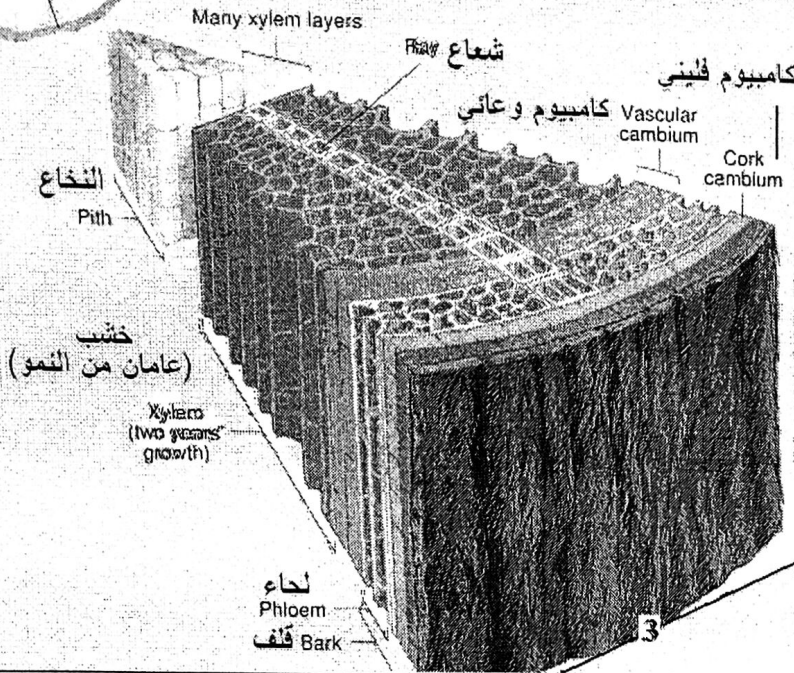
الفلقة بعمر 7 سنوات.

[4] صورة لمقطع عرضي في ساق ثنائي

الفلقة بعمر عدة سنوات.

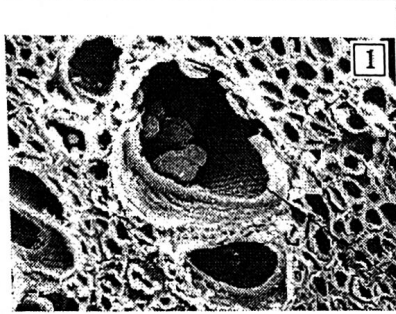


الشكل (2-6) - يوضح توضع البنية الثانوية:

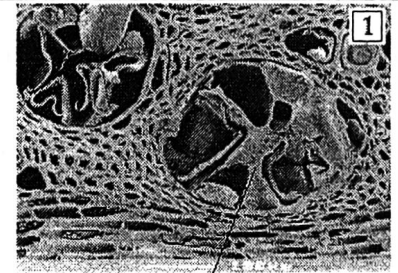
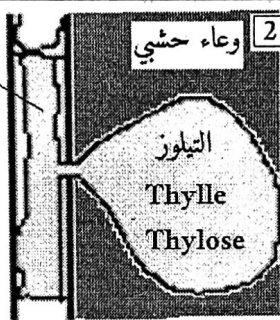


يسار: مقطع عرضي لساق ذو بنية ثانوية وجزء منه مجسم بثلاثة أبعاد.

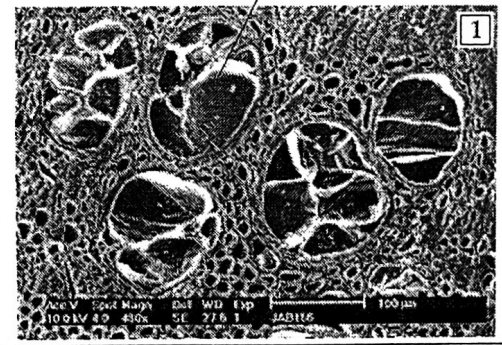
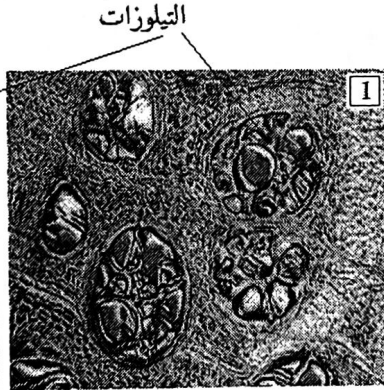
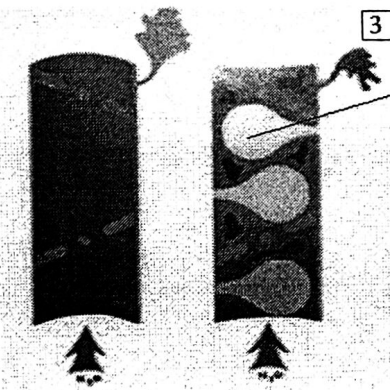
يمين: مرهل الانتقال من البنية الابتدائية إلى الثانوية



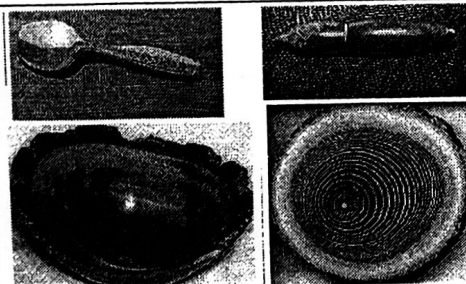
براشيمة خشبية



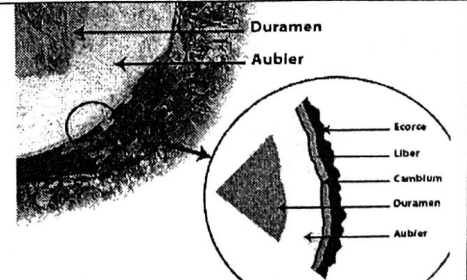
التيلوزات



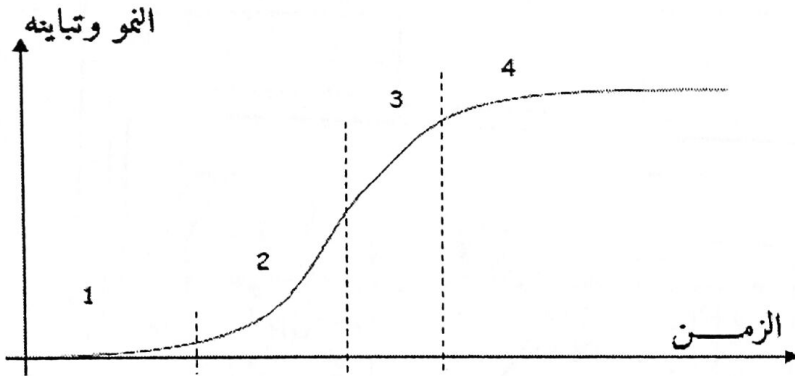
ظاهرة التيلوز = Tyloses = Thyllose: أي تكوين التيلوزات، وهي انبعاث حويصلي لبرتوبلاست الخلايا البراشيمية عبر النقر داخل الأوعية الخشبية للخشب الرخو (Aubier). [1] صور بالمجهر الماسح لمقاطع عرضية في الخشب المحتوي على التيلوزات؛ [2] مخطط لتشكل التيلوز؛ [3] مخطط لوعائين خشبيين، على اليسار خشب فعال فسيولوجيا، وعلى اليمين خشب ميت مسدود.



على اليمين: مخطط لمقطع عرضي في جدد شجرة يوضع تموضع الخشب الرخو نحو الخارج والخشب الصلب جهة الداخل.
على اليسار: صور لأدوات صنعت من الخشب الرخو والصلد أو الصميمي مع صورة لمقطع عرضي في جدد مسن.



5.1- منحنى النمو *Courbe de croissance*: عند قياس نمو النبات أو بعض أعضائه على فترات زمنية متعددة، يلاحظ أن النمو لا ينتظم خلال فترة حياة النبات أو العضو النباتي بل يكون بشكل منحنى بياني بهيئة الحرف (S)، الشكل التالي وهذا المنحنى يتمثل في العديد من النباتات الحولية وبعض الأعضاء فيها والنباتات المعمرة، والمنحنى يوضح بأن الزيادة في النمو تكون بطيئة في أول الأمر، ثم تتزايد وبعدها تبطئ مرة أخرى حتى تصل إلى التوقف. منحنى النمو: يترجم هذا المنحنى مدى تطور نمو النبات في ظل الظروف الطبيعية دون تدخل بشري، تنمو جميع النباتات على نفس المنوال: حيث يتبع منحنى النمو النموذجي للعضو أو لنبات كامل هيئة سينية الشكل «S» كالتالي:



الشكل: حركية النمو و التباين في النمو وهو مقسم إلى أربعة أطوار:
 1 (طور الكمون: النمو فيه يقترب من الصفر، البذرة تنبت؛
 2 (طور التسارع أو المنحنى الأسّي؛
 3 (طور خطي متباطئ، يُعد مرحلة انتقالية بين التسارع والثبات؛
 4 (طور الثبات يكون النمو فيه ثابتا لكن طويل المدة، وقد يُتبع بالتدهور أو الشيخوخة البيولوجية، فيحدث فيه موت مبرمج للخلايا.

حركية النمو والتباين في النمو:

تختلف حركية النمو النباتي مع مرور الوقت، نتيجة لعوامل مختلفة مثل درجة الحرارة و الإضاءة والرطوبة ... تعتمد وتيرة الحركية على العوامل الخارجية.
 العوامل الداخلية: هناك على سبيل المثال، مثبطات النمو هي المسؤولة عن حالة السكون (كحالة البذرة).
 التغير في الحيز: فهو ناتج عن العوامل الداخلية المتعلقة بالتنشيط ذو الصلة الوثيقة.
 مثال: يؤثر جزء أو عضو من نبات على نمو جزء أو عضو آخر من نفس النبات. يمكن تعليل ذلك إلى وجود ظاهرة السيادة القمية.

6- العوامل المنظمة لنمو الخلية:

إن نمو أي نبات ناجم بالخصوص عن تطاول الخلايا المنحدرة من القمة النامية؛ من عوامل داخلية كالهormونات وبقية العوامل البيئية مثل الضوء وكمية الماء المتوفرة، تتداخل فيما بينها لتنظم النمو الخلوي.
 والنمو بالمعنى النباتي، للنبته هو مجموع التغيرات الكمية غير الرجعية للنبات والتي تظهر بمرور الوقت وتضم:
 تضاعف الخلايا
 تطاول السليمايات والجذور
 تضاعف ونمو الأوراق
 إذن النمو معضلة يعبر عنها بوحدة الزمن أو بوحدة الكتلة في وحدة الزمن.

6.1- التضاعف في مستوى القمم:

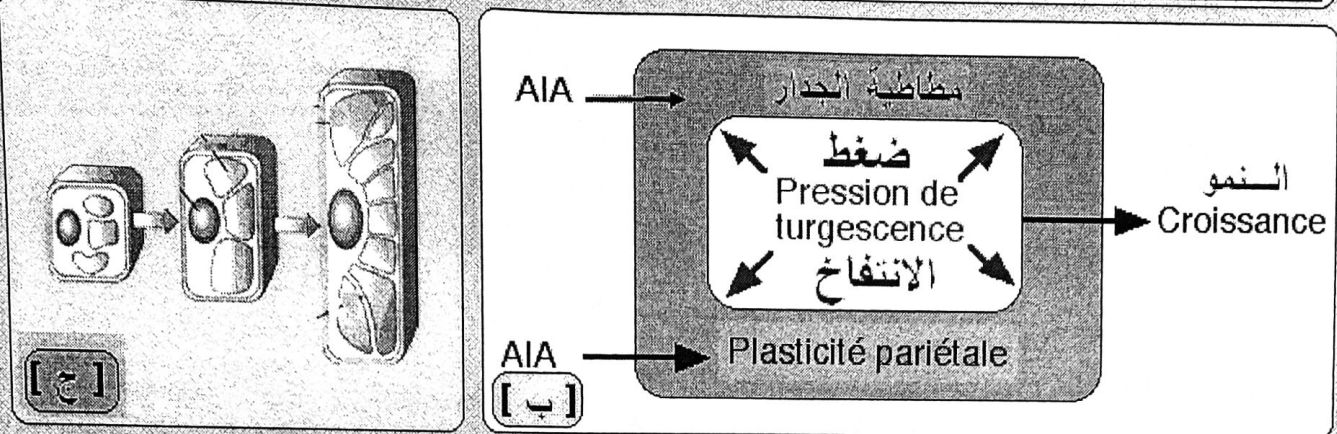
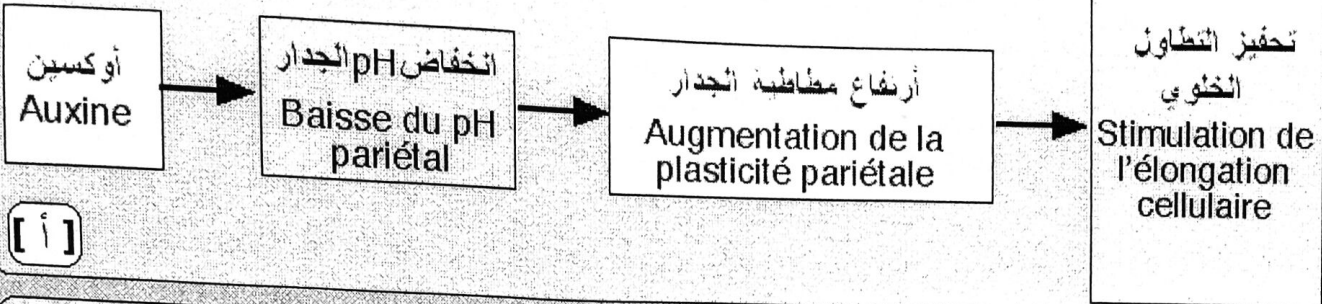
في مستوى القمم «apex» نجد كتلة من الخلايا غير متميزة، تعرف بالمرستيم «*méristèmes*». تتضاعف هذه الأخيرة عن طريق الانقسام الخيطي «mitose» ثم تتطاول بفضل الضغط الانتفاخي وفي الأخير تتمايز، وفق الوظيفة المنوط لها داخل النبات.

إن نمو الخلايا النباتية يشكل عقبة خاصة في بيولوجيا الخلية. لأن الخلية النباتية محاطة بجدار صلب الذي يحميها من التشوهات ويمنحها شكلا مميزا. إن نموها (أي تغير في القد والهيئة) لا يمكن أن يتم إلا في حالة حدوث تغيرات في البنية وخصائص هذا الجدار. يضبط أو ينظم الانقسام الخلوي بواسطة هرمون، الأوكسين. إن استعمال جهاز الأوكزانومتر «*auxanometres*»، سمح بتحليل التأثير الحركي للأوكسين. وبالتوازي تم إثبات دور الأوكسين على pH خارج خلوي أي البلازما المحيطة بفضل تدخل ATPase غشائية. من جهة ثانية يلعب الأوكسين دورا حول المطاطية للجدار الابتدائية، ثم يأتي دور الضغط الانتفاخي الذي يعتبر محرك النمو.

سمحت هذه النتائج بوضع مخططا شاملا لتأثير الأوكسين. من الممكن اقتراح عدة فرضيات لتنظيم النمو، مع التركيز على الدور الممكن لجرينتين هما: الإكسبانسين «*expansine*» و الأندو-كزيلوجلوكان ترانسفيراز «*endo-xyloglucane transférases*».

6.2- آلية النمو على المستوى الخلوي:

ينفذ الماء داخل الخلية عن طريق ظاهرة الحلول «*osmose*» محدثا ضغطا يعرف بالضغط الانتفاخي «*pression de turgescence*» التي يطبق على الجدار. وبفضل مطاطية الجدار «*plasticité pariétale*» المحدثة بواسطة ارتفاع في حموضة الجدار بواسطة تحت تأثير الفعل غير المباشر للأوكسين «*auxine*»، فتكسر الروابط الضعيفة للجزيئات المكونة له، وبالتالي يحدث تطاول الخلية، الشكل (2-12).



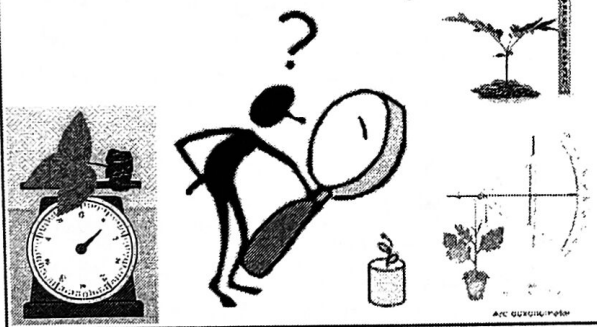
الشكل (2-12) - مخططات لآلية النمو على المستوى الخلوي:

[أ] - التأثير غير المباشر للأوكسين على الاستطالة الخلوية؛

[ب] - تأثير الضغط الانتفاخي على الاستطالة الخلوية

[ج] - مخطط لمراحل حدوث الاستطالة في الخلايا النباتية.

Comment mesurer la croissance des plantes



قياس النمو Mesure de la croissance

يقدر معدل نمو النبات أو أي نوع آخر من التعبير الكمي للنمو الذي يقوم به النبات خلال فترة زمنية محددة بقياس الزيادة في:

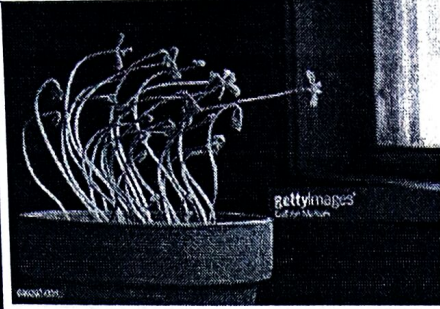
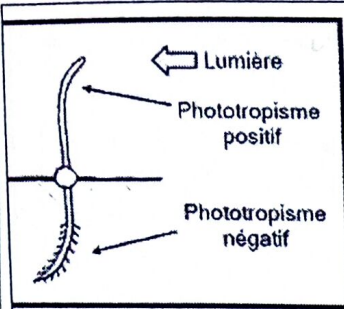
1. طول بعض أعضائه كالساق أو الجذر.
 2. الزيادة في قطر الساق أو غير من الأعضاء.
 3. الزيادة في مساحة الأوراق.
 4. الزيادة في حجم البذور أو الثمار.
 5. الزيادة في الوزن الطري أو الوزن الجاف للنبات كله أو لأحد أعضائه.
 6. الزيادة في كمية البروتوبلازم أو البروتين التركيبي.
 7. الزيادة في عدد أفراد مستعمرة من البكتيريا أو الخمائر أو الطحالب وغيرها، في حالة الكائنات وحيدة الخلية.
- هذا وقد استخدمت في السنين الأخيرة أجهزة متطورة ودقيقة في قياس وحساب معدلات النمو على مستوى الخلية أو العضو النباتي.

7- المظاهر الحركية عند النبات:

نباتات اليابسة عبارة عن كائنات مثبتة في التربة، كما أنها توحى بمظهر ساكن غير متحرك. غير أن إجراء دراسة دقيقة يمكن تنفيذها بأخذ صور فوتوغرافية سريعة، تظهر أن النباتات تشكل مقرا للعديد من الحركات الخفية، أو الكبيرة السعة، سريعة أو بطيئة جدا، سهلة passifs أو نشطة actifs، ذاتية أو متعلقة بالمحيط. وتكون هذه الحركات على وجه الخصوص متعلقة بالخصائص التشريحية، اختلافات في الضغط أو الإماهة hydratation أو مشاكل التباين في النمو. تسمح هذه الاختلافات في الغالب برد فعل وفق عوامل الوسط البيئي.

لغرض تصنيف مختلف حركات النباتات، نأخذ في الحسبان: الطبيعة، الظاهرة والأسباب، طبيعة الجزء المتحرك وضرورة أو عدم ظاهرة النمو.

أساسية الجذر AIA تالية جداً وبالتالي تتغير في تركيزه بعض منه وذلك لحرارة بكونه مستقيماً هو الصواب

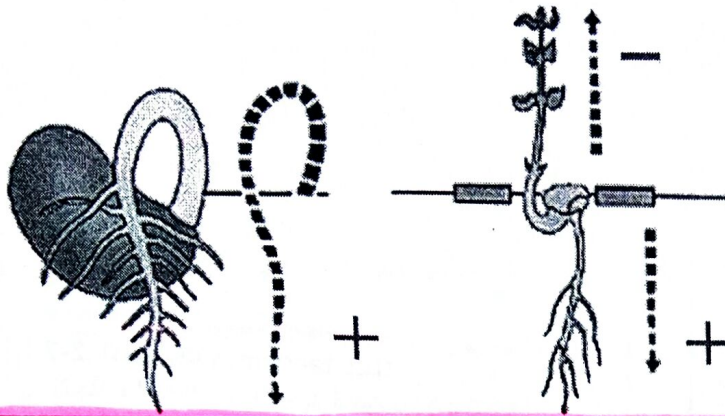


1-7. الانتحاءات Les tropismes:

تتم انطلاقاً حركات الأعضاء بواسطة محفز خارجي، وتكون موجهة ومرتبطة بالنمو.

1-1-7 Le phototropisme الضوئي:

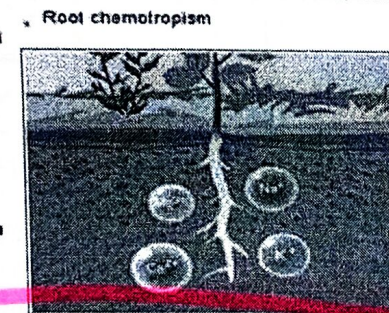
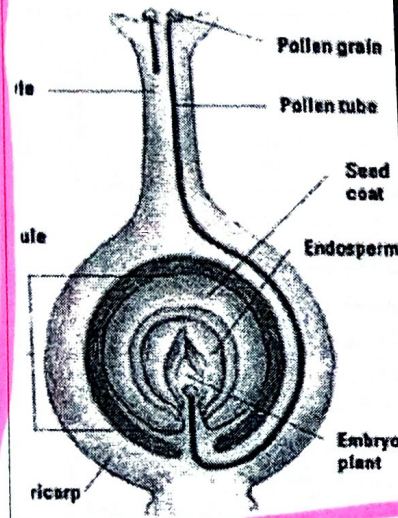
يكون الساق في غالب الأحيان ذو انتحاء ضوئي موجب، بينما الجذر ذو انتحاء ضوئي سالب، وتخضع الأفرع الجانبية للانتحاء الممدد "plagiotropisme" أي تنمو بشكل أفقي أو موازي لسطح الأرض.



2-1-7 Le géotropisme الأرضي:

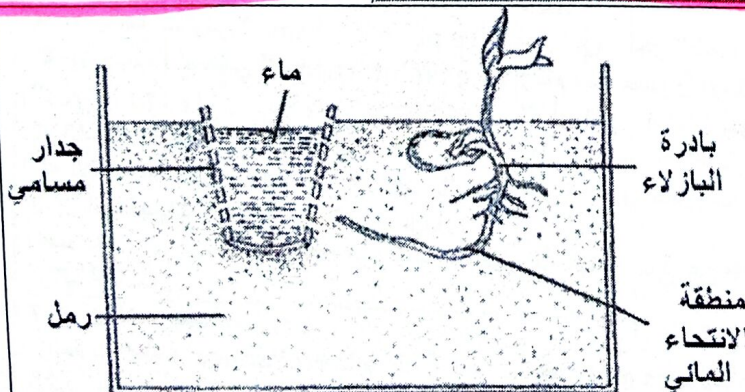
ينجم الانتحاء الأرضي عن قوة الجاذبية الأرضية؛ ويمكن أن يكون موجبا كما هو الحال في نمو الجذر أو سالبا كما يحدث لدى الساق.

FERTILIZATION AND DEVELOPMENT OF AN EMBRYO



3-1-7 Le chimiotropisme الكيميائي:

يحدث عند حدوث الاخصاب بين الأعضاء التكاثرية، وكذلك عند تكوين الجذر العقدية مع بكتيريا الريزوبيوم، كما يلاحظ الانتحاء الكيميائي أثناء امتصاص المواد الكيميائية والعناصر المغذية.

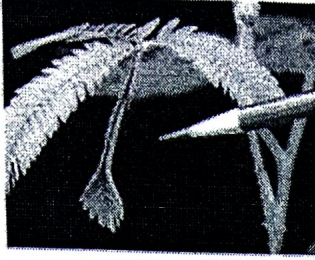


الانتحاء المائي للجذور hydrotropisme des racines:

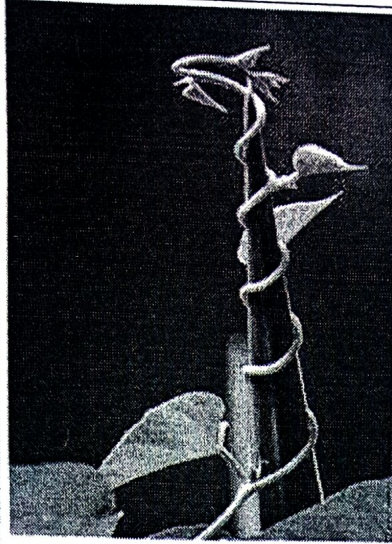
لاحظ الشكل (2-13)، في حالة الأنبوب الطلعي أثناء نضج حبوب الطلع، وكذلك تكوين العقد الجذرية.



(a) Unstimulated state



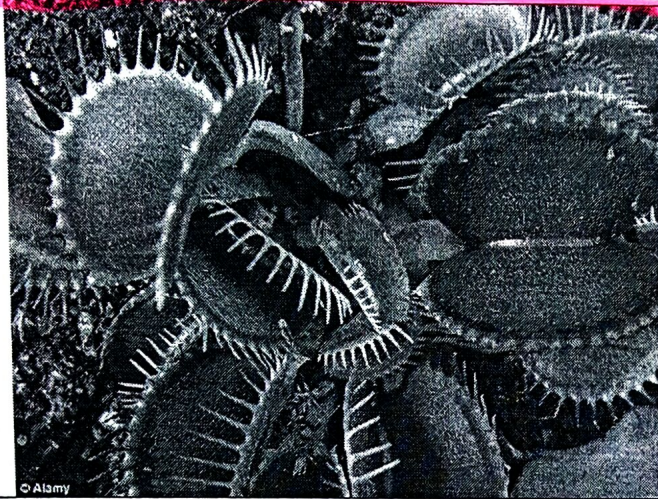
(b) Stimulated state



4-1-7 Le haptotropisme ou le الانتحاء للمس

:thigmotropisme

نتكلم عن "l'haptotropisme" عندما يتحاشى الجذر عارض، بينما نتكلم عن "le thigmotropisme" عندما يلتصق المحلاق بسند أو حامل.



© Alamy

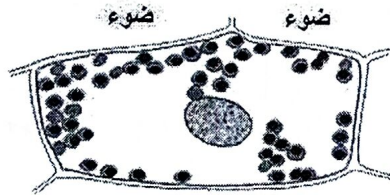
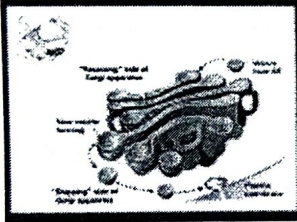
2-7. الانجذابات tactismes: Les

الانجذاب "tactisme" عبارة عن تنقلات تنطلق بواسطة محفز خارجي موجه، ولا يكون متعلق بالنمو.

1-2-7 حالات العضيات الخلوية Les cas

d'organites cellulaires

كل الخلايا الحيوانية والنباتية، تحدث حركات داخل خلوية "intra-cellulaires" (الأنابيب الدقيقة، الصبغيات، الحويصلات الكولجية، النقل الغشائي، النقل النووي- السيتوبلازمي.. الخ). إن حركة دوران السيتوبلازم أو السيكلوز "cyclose" عبارة عن حركة داخل خلوية سهلة الملاحظة عند النباتات. تسلك الصانعات الخضراء بطرق مختلفة اتجاه الضوء تحت تأثير الفيتوكروم.



2-2-7 حالات الكائنات Les cas des organismes:

- < الانجذاب الضوئي "Le phototactisme": إنها الحركة نحو الضوء وخاصة عند الكائنات وحيدة الخلية وقد تكون (+) أو (-).
- < الانجذاب الكيميائي "Le chimiotactisme": تتم على مستوى الأمشاج الذكرية "spermatozoïdes" لكل من السرخسيات "Les fougères" والحزازيات "Les mousses"، أي تحرك الخلايا نحو محفز كيميائي.
- < الانجذاب الحراري "Le thermotactisme": يتم على مستوى الفطريات الدنيا وفق الحرارة.
- < الانجذاب المائي "L'hydrotactisme": يتم على مستوى الفطريات الدنيا وفق الرطوبة.

3-7. الاستجابات الانحرافية Les nasties:

الاستجابات الانحرافية nasties عبارة عن حركات للأعضاء تنطلق عن طريق محفزات خارجية غير موجهة، وقد تكون مرتبطة أو غير مرتبطة بالنمو.

1-3-7 الانحرافات السفلية

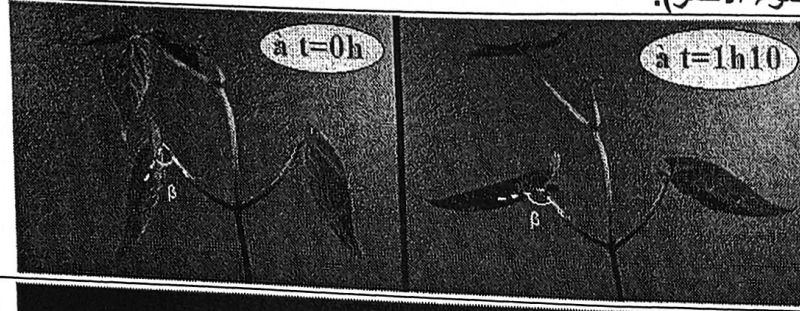
(المتعلقة بالنمو) Epinasties et hyponasties (liés à la croissance)

الانحرافات السفلية المتعلقة بالنمو، هي عبارة عن حركات متعلقة بشكل العضو، المثبت في تنظيم تشريحي. إنها حركات سريعة تمس بالخصوص الأزهار والقطع الزهرية. بينما الـ hyponasties عبارة عن حركات ناجمة عن عدم تساوي في النمو على جانبي العضو.

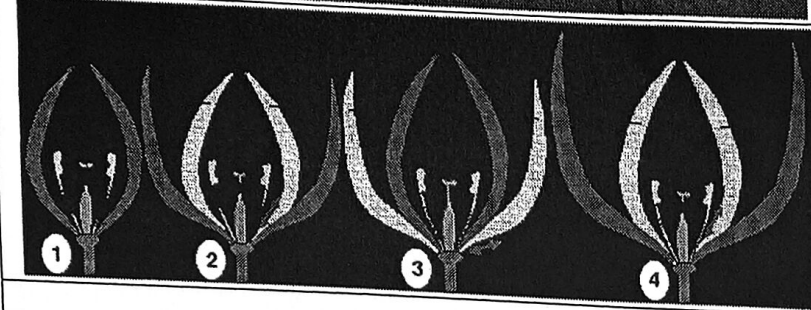
2-3-7 الانحرافات الليلية والضوئية

: Les nyctinasties et photonasties

إنها ظواهر غير متعلقة بالنمو، إن كل من الانحرافات الليلية والضوئية، عبارة عن فتح وغلق للأزهار (في بعض الأحيان الأوراق) وفق دورية يومية. وتكون هذه الآلية متعلقة بتدخل الفيتوكروم (الضوء الأحمر).



حركة أوراق نبات الفاصوليا.



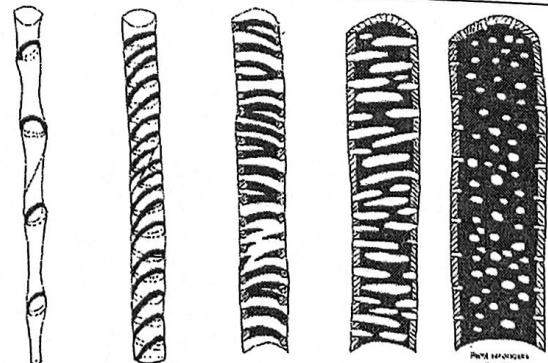
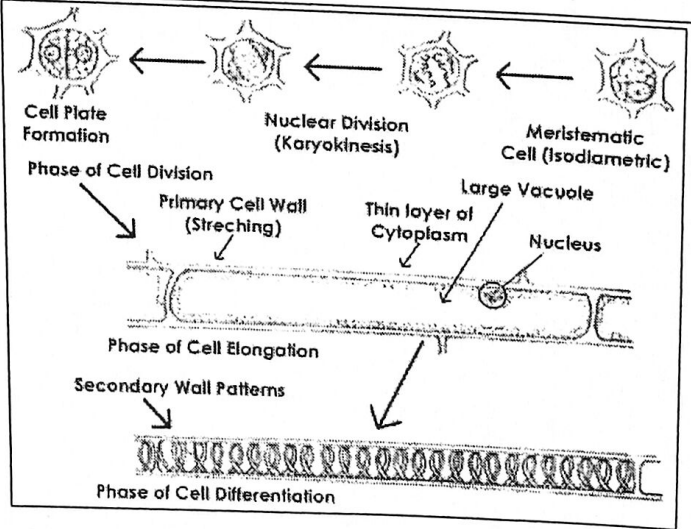
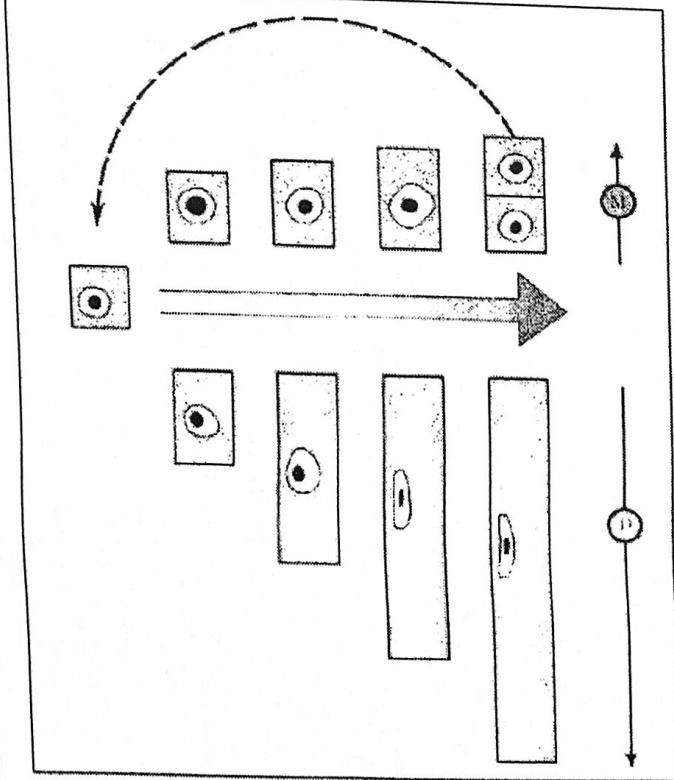
حركة تفتح زهرة التوليب.

3-3-7 الانحرافات الاهتزازية Les séismonasties : إن الانحرافات الاهتزازية عبارة عن حركات تنجم عن الصدمات فينجر عنها انغلاقا سريعا.

4-7 حركات النمو Les nutations : إنها حركات ذاتية للأعضاء غير متعلقة بالنمو. يوجد داخل الخلايا حركات سيتوبلازمية ناتجة عن التغيرات في ضغط الانتفاخ. داخل الخلايا الحرة أو ذات سيات، نشاهد حركات ثقلية.

مخططان يوضحان امكانية تحول الحلية المرستيمية عبر الانقسام والتمايز إلى خلية وعاء خشبي.

Devenir possibles des cellules méristématiques



annelée	spiralee	rayé	réticulé	ponctué
Trachéides		Vaissaux		
Les éléments conducteurs en vues (A, B) et coupes (C, D, E) longitudinales				

بالتوفيق للجميع

الفصل الثالث: السبات الخصري Dormance végétative

التعريف ببعض المصطلحات

1- الأنماط الفسيولوجية والمورفولوجية & II-التوافق الضوئي والحراري & III- إشارات الإزهار.

طور السكون أو الكمون: هو مرحلة تمر فيها الكائنات الحية ويتوقف خلالها النشاط الأيضي بشكل كامل أو شبه كامل؛ ويحدث طور السكون على مستوى المورثات بإبطال مفعول بعضها ويؤثر في ذلك فترات الإضاءة (طول النهار) وبرودة الشتاء وبعض الهرمونات، ويساعد في فهم الكمون معرفة آلية التحكم الوراثي في النمو والتطور ويعتبر سكون البراعم والأبصال والدرنات والبذور أشكالاً متشابهة لطور السكون.

السبات المجاور Paradormance: تثبيط النمو من قبل الأعضاء أو الأنسجة الأكثر أو الأقل بُعداً عن المرستيم وبداية البراعم (الارتباطات).

السبات الداخلي Endodormance: عدم القدرة على النمو، وتكون متعلقة بخصائص أنسجة البراعم نفسها، في غياب أي مثبطات مترابطة وعندما تكون جميع العوامل الخارجية مواتية.

السبات البني Ecodormance: تثبيط النمو المفروض من قبل عامل خارجي غير مناسب للنبات. تكون في معظم الحالات درجات الحرارة المنخفضة جداً.

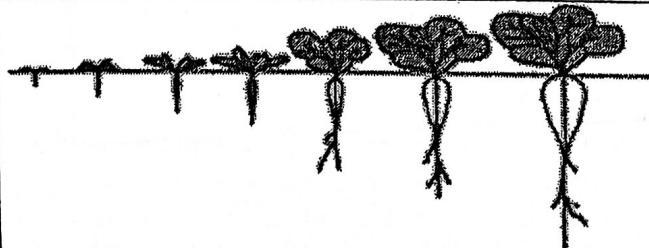
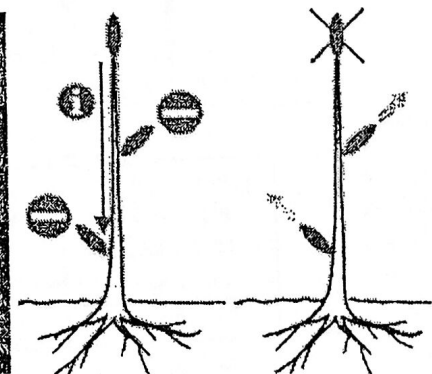
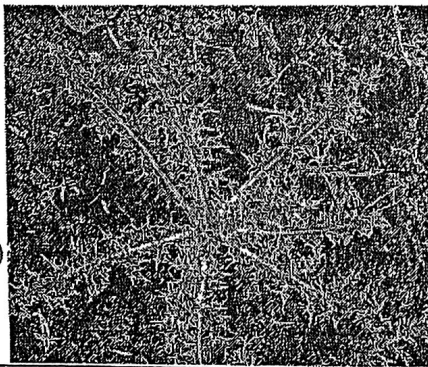
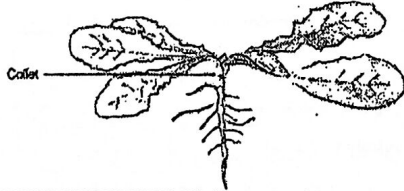
الارتباع أو التجميد التنشيطي (Vernalisation): هو الحاجة إلى فترة تبريد مفاجئة للبذور والمجاميع الخضرية لكي يحدث الإزهار، ما يعني تقصير فترة النمو الخصري ودفع النباتات إلى الإزهار المبكر.

الكثير من النباتات التي تُزرع في المناخ المعتدل تحتاج إلى عملية الارتباع ويتطلب ذلك انخفاض درجة الحرارة في فصل الشتاء لبدء أو تسريع الإزهار. وهذا يعني بأن العملية التكاثرية وإنتاج البذور تحدث في فصل الصيف أو الربيع وليس في الخريف. وتقع درجة الحرارة المثلى للارتباع ما بين 5 و 10 درجة مئوية. إذن الارتباع يسمح باستمرار العمليات الحيوية التي تجري أثناء فترة النشاط وهذا يعمل على إسرار عمليات فسيولوجية معينة تؤدي إلى الانتقال إلى مرحلة الإزهار في فترة قصيرة نسبياً.

يحدث طور السكون على مستوى المورثات وذلك بإبطال مفعول بعضها ويؤثر في ذلك فترات الإضاءة (طول النهار) وبرودة الشتاء وبعض الهرمونات، ويساعد في فهم الكمون معرفة آلية التحكم الوراثي في النمو والتطور ويعتبر سكون البراعم والبذور والأبصال والدرنات والحشرات أشكالاً متشابهة لطور السكون.

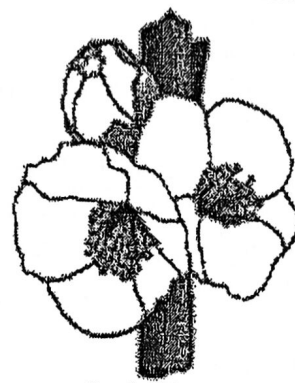
قد توقف بعض العوامل البيئية النمو تماماً، وغالباً ما يحدث ذلك في الطبيعة. فعندما تكون درجة حرارة النبات دون الدرجة الدنيا للنمو (كفصل الشتاء مثلاً)، أو يكون المحتوى المائي منخفضاً جداً (كالبدور)؛ لكنه وحتى عندما تكون الظروف البيئية مناسبة للنمو، قد يظل النبات عاجزاً عن النمو نتيجة لبعض العوامل الداخلية. فلقد أخفقت العيون التي جمعت في الربيع من درنات البطاطس (*Solanum tuberosum*) الحديثة الحصاد أو أبصال "التوليب" (*Tulipa sp.*)، في النمو على الرغم مما وفر لها من حرارة وماء وظروف بيئية أخرى مثلى لنموها في الربيع التالي. في بعض الحالات قد ينمو جزء من النبات في حين يبقى الجزء الآخر كامناً، فمثلاً في النمو المبكر للحشائش تنمو الأوراق في حين لا تنمو السلاميات، وقد تعجز البراعم الجانبية للنبات أيضاً عن النمو، في حين ينمو البرعم الطرفي. وقد تنمو جذور بعض الأنواع على الأقل في درجة معقولة في حين يعجز الجزء الهوائي عن النمو.

في بعض الحالات قد ينمو جزء من النبات في حين يبقى الجزء الآخر كامناً، فمثلاً في النمو المبكر للحشائش تنمو الأوراق في حين لا تنمو السلاميات، وقد تعجز البراعم الجانبية للنبات أيضاً عن النمو، في حين ينمو البرعم الطرفي (المخططان على اليمين). وقد تنمو جذور بعض الأنواع على الأقل في درجة معقولة في حين يعجز الجزء الهوائي عن النمو (الصورتان على اليسار).



لكي تزهر هذه النباتات ثنائية الحول في عامها الثاني وتظهر السلاميات يجب أن تمر في شتاء العام الأول بالارتباع أي التعرض في المرحلة الخضرية إلى درجات الحرارة المنخفضة.

إذن يحدث السكون في النبات لأسباب داخلية أو خارجية.



زهرة متفتحة
Fleur ouverte



ظهور التويج
Apparition
de la corolle

انتفاخ البرعم
Bourgeon
gonflé

برعم شتوي
Bourgeon
d'hiver

الشكل: لو لم يتعرض هذا البرعم إلى فترات البرودة في الشتاء لما استطاع أن يزهر في الربيع.

خلال دورة حياة النبات، يتوقف أحيانا عن النمو مؤقتا، رغم نشاطه الأيضي الحيوي، لكن بمعدلات دنيا لدرجة قد يصعب معها قياسها، وقد استخدم العلماء مصطلح السكون لوصف توقف نمو البراعم على الأشجار أو توقف استئناف نمو الجنين وهو ما يعرف بالسكون.

تصبح النباتات في المناطق المعتدلة ساكنة، خلال فصل الشتاء، وهذا ما ينطبق على الأشجار متساقطة الأوراق "arbres à feuilles caduques" فحسب ولكن على النباتات مستديمة الخضرة "arbres à feuilles persistantes" أيضا، والتي يبطن نموها بحلول الخريف ويقل النمو كثيرا خلال الشتاء، حيث أن براعم النباتات تمر بفترة سكون وقد ينهي أو يكسر هذا السكون بالتعرض إلى فترة من الزمن تكون فيها درجة الحرارة منخفضة وتحتسب هذه الفترة بعدد الساعات التي تكون درجة الحرارة أقل من 7°م، وتسمى هذه الظاهرة بمتطلبات البرودة.

إن هذا النوع من سبات البراعم الذي يكسر بالتعرض للبرودة قد يشابه كسر سبات البذور بالتعرض للبرودة أيضا. وبعبارة أخرى تبقى براعم بعض الأشجار بحالة ساكنة عندما توضع النباتات في محل أو بيت زجاجي مدفأ. ولكن عند تعرضها إلى درجة حرارة (0-10°م) لمدة من الزمن ثم ترتفع درجة الحرارة نسبيا فإن سبات البراعم سوف يكسر (ينهي) ويستعيد النمو نشاطه. كما أن بعض النباتات تصبح ساكنة خلال الصيف الحار، لذا يستعمل اصطلاح السبات أو الراحة للإشارة إلى ظروف النبات التي لا يستطيع النمو فيها مباشرة حتى ولو تعرض إلى ظروف ملائمة من درجات الحرارة والرطوبة...الخ.

علاقة سبات البراعم بالفترة الضوئية ودرجات الحرارة المنخفضة: عندما يصبح النهار قصيرا بحلول الخريف والشتاء، تصبح براعم النباتات الخشبية بحالة سكون، وبعبارة أخرى فإن سكون البراعم في النباتات الخشبية يعتمد على عملية التوافق الضوئي، حيث أن النهار القصير يسبب سكون البراعم، والنهار الطويل ينهي سكون البراعم. وعلى الرغم من أن موضع استجابة التوافق الضوئي المتعلق بالأزهار هو الأوراق إلا أن موضع استجابة التوافق الضوئي المتعلق بسبات البراعم قد يحدث في البراعم نفسها كما في نبات أشجار "الزان" (*Fagus sp.*) "hêtre"، الجدول (1-3) أو في الأوراق كما في نبات "الروبينية" (*Robinia sp.*). كما وجد أن تقليل الماء أو المغذيات (وخاصة النيتروجين) قد يسبب حدوث السبات. إن تلك الحالة تكون مهمة في بعض النباتات لغرض مقاومة درجات الحرارة العالية والجفاف.



فتح براعم الزان

شكل: لو لم يتعرض هذان البرعمان إلى فترات البرودة في الشتاء لما استطاعا أن يتفتحا ويزهرا في الربيع.

على اليمين: براعم الزان؛

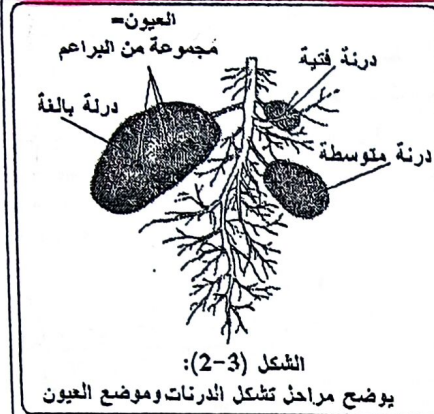
على اليسار: برعم الروبينية.

الوقت اللازم (الأيام) لإظهار 50% من النباتات التي تنهي سباتها	عدد النباتات التي أظهرت إنهاء السبات بعد 46 يوما	عدد النباتات المستعملة	عدد ساعات الضوء في اليوم	الجدول: تأثير طول الفترة الضوئية على إنهاء السبات في براعم نبات أشجار "الزان" (<i>Hêtre</i> (<i>Fagus sp.</i>)).
-	00	11	12	
46	05	12	16	
14	09	11	20	
14	11	11	24	

الهرمونات المسببة لسبات البراعم:

Les hormones responsables de la dormance des bourgeons

بما أن سكون البراعم يحدث استجابة للتوقيت الضوئي وأن الأوراق أو البراعم هي موضع الإحساس الضوئي، لذا يعتقد بحدوث بعض التغيرات الكيميائية التي تؤدي إلى تكوين الهرمون المسبب للسبات. ولقد افترض بأن سكون البراعم في النباتات الخشبية، قد يعتمد على نسبة وجود المواد المثبطة (افترض حامض الأبسيسيك ABA) التي تتكون في البراعم، والمواد المحفزة (مثل حمض الجبرلين "GA")، الذي يتكون في النبات. فالنهار القصير أو ظروف السكون تسبب زيادة ABA، والشتاء القارص أو النهار الطويل تسبب قلة المواد المثبطة وزيادة الجبرلين "GA"، وأن النسبة بين الـ "GA" والـ "ABA"، هي التي ستحدد ما إذا كانت البراعم ستصبح فعالة ونامية أو ساكنة، الشكل (1-3).



سكون درنات البطاطس Dormance des tubercules de pomme de terre

إن هذا النوع من سكون البراعم ليس في النباتات الخشبية، بل في درنات البطاطس (نباتات عشبية). ومن المعلوم أن الدرنة عبارة عن ساق ترابي ممتلئ بالمواد الغذائية، وحماية على عدة براعم مجتمعة بشكل عيون، الشكل (2-3). إن الدرنات المجنية حديثا والمعرضة لظروف النمو لا تستطيع النمو، ليس بسبب السيادة القمية [انظر الفصل الخامس، الشكل (5-12)]، بل بسبب وجود بعض المواد المثبطة للنمو أو قلة المواد المحفزة للنمو.

كما لوحظ أن وضع الدرنات في مخزن جاف بدرجة حرارة 35°م، أو مخزن رطب بدرجة حرارة 20°م، يؤدي إلى تقليل سبات البراعم، أما درجات الحرارة المنخفضة فلا تنتهي السبات.

المواد المثبطة والمسببة لسكون درنات البطاطس:

لقد وجد مركبا يسبب سكون درنات البطاطس، عرف في البداية تحت اسم "β-inhibiteur"، وأن كثيرا من الأبحاث تؤيد بأن الـ "β-inhibiteur"، يشابه تماما حمض الأبسيسيك "ABA".

المركبات التي تكسر سكون البراعم:

لقد عرف منذ مدة طويلة أن سكون البراعم الخشبية يمكن أن ينهي بالتعرض للبرودة، وقد تتراوح المدة من أسبوعين إلى الشهر تحت درجة حرارة تقع ما بين 5-7°م، وتسمى بمتطلبات البرودة. تختلف مدة التعرض للبرودة باختلاف النباتات، فمثلا نبات التفاح "pommier" (*Malus sp.*) يتطلب من 1000-1400 ساعة أقل من 7°م، لإنهاء طور السكون. كما وجد أيضا أن بعض المواد الكيميائية يمكن أن تكسر سبات البراعم، نذكر على سبيل المثال لا للحصر، ما يلي:

2-كلوروإيثانول "2-chloroethanol" ويعرف تحت اسم إيثيلان كلورو هيدرين ذو الصيغة الكيميائية التالية: (Cl-CH₂-CH₂-OH). يستطيع هذا المركب أن ينهي سكون درنات البطاطس، كما يستطيع أن ينهي سبات براعم أشجار الفاكهة، عندما يستعمل بشكل بخار. ولوحظ عند استعمال هذا المركب حدوث بعض التغيرات الحيوية، كزيادة معدل التنفس، ونشاط بعض الإنزيمات لاسيما "Catalase، Peroxydase... الخ"، كما يقل تركيز أيونات الهيدروجين وحامض الليمون "Acide citrique".

-الثيوريا "thiourea": على الرغم من أن هذه المادة أقل فاعلية من السابقة الذكر، لكنها تسبب نمو براعم درنات البطاطس، كما أنها تسبب نمو عدة براعم في العين الواحدة، بعكس [إيثيلان كلورو هيدرين]، الذي يسبب نمو برعم واحد في العين الواحدة.

-الجبرلين أو حمض الجبرلين "GA": لقد ثبت بالتجربة أن الجبرلين ينهي سكون البراعم؛ وبالعكس [الثيوريا و إيثيلان كلورو هيدرين]، فهو مركب طبيعي له علاقة بعملية سبات البراعم، كما يستطيع كسر سكون درنات البطاطس أو براعم الأشجار متساقطة الأوراق. كما ثبت أن الجبرلين يعوض متطلبات البرودة لإنهاء سكون البراعم. كما وجد أن الجبرلين يستطيع تحفيز درنات البطاطس الموجودة على النبات أو المحصودة من النبات التو (أو في أي وقت من السبات)، كما أظهرت الأبحاث بأن تركيز الجبرلين الطبيعي الداخلي يكون عاليا في درنات البطاطس النامية عن تركيزه في درنات البطاطس حديثة الحصاد.

7-1- آلية رفع السبات: لقد أظهرت الأبحاث الأولى المتعلقة بإنهاء السكون، أن ذلك مرتبط بتنشيط المورثات "activation des gènes"، حيث يمكن تكوين "الـ RNA" الجديد معتمدا على فعالية "الـ DNA".

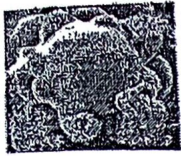
II- التوقيت الضوئي والحراري: إن التطرق إلى كل من التوقيت الضوئي والحراري، يجزنا حتما للكلام عن فسيولوجيا الإزهار، لذلك يجب الإشارة بشيء من التفصيل إلى هذا الجزء، حتى يتمكن الدارس من الفهم الجيد لكل من التوقيت الضوئي والحراري، والذي يصطلح على تسميتهما في بعض الكتب بالتعاقب الضوئي والحراري، واللذان لهما صلة وثيقة بظاهرة إزهار النباتات.

1-1- فسيولوجيا الإزهار :Physiologie de la floraison

المقدمة:

يلاحظ الإزهار لدى مغطاة البذور "les angiospermes". تمثل مرحلة الإزهار الانتقال من المرحلة الخضرية غير الجنسية "asexué" إلى الحياة الجنسية "vie sexuée" تقود إلى إنتاج الأمشاج "gamètes" تنتهي بتكوين البذور "graines" التي تضمن البقاء على قيد الحياة وانتشار النوع.

بمعنى آخر: برعم خضري == > برعم تكاثري = براعم زهرية.



تحويل transition

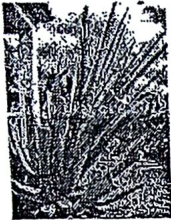


برعم زهري

لا يتم الإزهار في نفس الطور، مهما كان نمط النبات، لذلك ينبغي أن نتكلم عن النضج الزهري "maturité de floraison". يقود هذا من جهاز خضري مختزل إلى جهاز خضري هام. يختلف النضج الزهري من النباتات الحولية "annuelles" إلى ثنائية الحول "bisannuelles" إلى المعمرة "vivaces"؛ فمثلا، لا يزهر النبات إلا إذا بلغ حدا معيناً من النمو الخضري (بالنسبة للأشجار المثمرة، يجب الانتظار من خمسة إلى سبع سنوات، أما بالنسبة لنبات الطماطم يجب انتظار ظهور السلاسل الثلاثة عشر). ولدى العديد من الأنواع النباتية، فإن التأهيل للإزهار يتعلق بالعوامل الخارجية مثل درجة الحرارة، بالإضافة إلى تدخل تغذية النبات (زيادة النيتروجين تحفز النمو الخضري وتثبط الإزهار)؛ يجب أن يكون $[N]/[C] = 15$ إلى 20. توجد هناك استثناءات، فمثلا لدى الحمضيات "Agrumes" هناك احتياج كبير للنيتروجين.

-- > طور الحث الزهري: إن تأثير العوامل الخارجية (درجة الحرارة، طول النهار)، المحته، تحفز البراعم الخضرية. في نهاية تأثير هذه العوامل، يوجد تحفيز للبراعم الخضرية بدون تغيرات خارجية، فنقول أن النبات في طور الاستحضار الزهري "l'évocation florale".

-- > تستعيد الانقسامات الخيطية نشاطها، منطقة نمو المناطق في طور الراحة، ظهور أنسجة جديدة، تبقى البدعات في حالة القطع الزهرية حيث تنمو وتتطور لاحقا تحت بعض الظروف أو ينمو داخل فجوة.



1-1- II - مكانة الإزهار في حياة النبات :Place de la floraison dans la vie du végétal

نباتات وحيدة الإثمار Plantes monocarpiques

monocarpiques: حولية، ثنائية الحول، متعددة

الحول (تبقى لسنوات في حالتها الخضرية ثم تزهر

وتموت - أغاف Agave) - تزهر مرة واحدة في حياتها.

النباتات متعددة الإثمار "Plantes polycarpiques": معمرة - تزهر عدة مرات في حياتها؛ مثل كل الأشجار المثمرة.

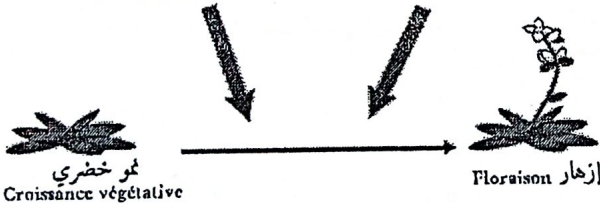
إشارات بيئية Signaux environnementaux



برودة الشتاء = الارتبايح
Froid hivernal
= vernalisation



طول النهار = التراقط الضوئي
Longueur du jour
= photopériodisme



2-II- الحث الزهري :Induction florale

عوامل خارجية: درجة الحرارة "température"، التواقط

الضوئي "photopériodisme"؛

عوامل خاصة بالنبات: تغيرات في التوازن الهرموني، أو تغيرات في الارتباطات المتبادلة بين البراعم.

-- > > > موجتان من الانقسامات الخيطية ترغم البرعم الخضري أن يعمل بشكل مختلف؛ ليدخل في طور الاستحضار الزهري

"l'évocation florale": مجموع تلك التغيرات غير الرجعية.

1-2-II- النباتات غير المتحيزة Les plantes indifférentes:

نباتات تزهر مهما كانت الظروف الخارجية. يجب أن تحصل النباتات على أقل قدر ممكن من التغذية؛ مثل: الطماطم

"Solanum lycopersicum"، البازلاء "Pisum sp"، بعض

أنواع التبغ "Nicotiana sp"، الذرة "Zea mays"، الخ...

3-II- الارتبايح La vernalisation: تحتاج العديد من نباتات المناطق المعتدلة لكي تزهر، أن تتعرض إلى درجات الحرارة المنخفضة.

= > النجيليات "Les céréales"، نلاحظ أنواعا شتوية وربيعية، كما هو الحال لدى القمح

والسلت = الشيلم "Secale cereale" seigle. تزرع الأنواع الشتوية في الخريف، وتقضي فترة الشتاء في طور البادرة "plantule"، فتكمل فترة نموها في السنة اللاحقة. بينما تزرع الأنواع الربيعية في الربيع، فتغلق دورة حياتها في بضعة أشهر. تكون الأنواع الشتوية أغزر إنتاجا، فنحصل على أحسن مردود.

في حين أن هذه الأصناف لا تقاوم درجات الحرارة أقل من -15°م، مما يطرح إشكالية بالنسبة لبلدان أوروبا الشرقية. لقد اهتم الفسيولوجي الروسي "ليسينكو Lyssenko" بالأنواع الشتوية

والربيعية لمحصول الشيلم.



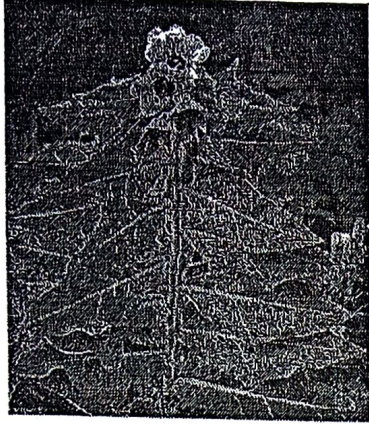
Trofim Denissovitch

Lyssenko

La vernalisation 1938

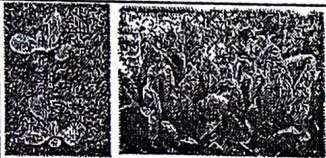
- ✓ تزرع الأنواع الربيعية "SP" للشيلم في بيوت بلاستيكية تحت درجة حرارة 18°م، فتزهر عند ظهور الورقة 7.
- ✓ بينما زرع الأنواع الشتوية "SH" للشيلم في بيوت بلاستيكية تحت درجة حرارة 18°م، فتزهر عند ظهور الورقة 16 أو 25.
- ✓ إذن الاحتياج للبرودة يسرع الإزهار.
- ✓ عند تشرب البذور لمدة شهر في درجة حرارة 2°م، ثم تزرع بيوت بلاستيكية تحت درجة حرارة 18°م، فتزهر عند ظهور الورقة 7.
- ✓ كذلك الأمر بالنسبة للبذور المعالجة بنفس الطريقة، يمكن زراعتها في الربيع.
- ملاحظة: البرودة المطبقة على البادرات أو على البذور، فنحصل على نفس النتيجة.

= < حالة البنج نبات (Jusquiamé - Hyoscyamus):



• يضم صنفين - حولي و ثنائي حول:
في السنة الأولى، تظهر الأزهار (النورات)، إذا حصلت النبتة بشكل باقة على فترة برودة، وبمجرد حصول النبات على الارتباع، يمكن وضع هذه الأخيرة تحت ظروف النهار الطويل، أي ضمن شروطها الطبيعية.
== < الأزهار (النورات). الارتباع شرط ضروريا لحدوث الإزهار؛ بالإضافة إلى أن النبات يجب أن يشكل عددا من الأوراق حتى تكون المعالجة بالبرودة فعالة. تشرب بذور البنج ضروريا لعملية الارتباع.
فقد تبث بالتجربة أن نبات البنج الذي خضع مسبقا لعملية الارتباع:
❖ - إذا تبع بظروف نهار قصير لا يزهر
❖ - إذا تبع بظروف نهار قصير ثم وضع في ظروف نهار طويل فإنه يزهر، هذا يعني أن النبات يحتفظ في ذاكرته بالمعالجات المسبقة.

= < حالة الهندباء المزروعة (Cichorium) Endive



في الأعلى وعلى اليمين: نبات الهندباء بشكل باقة أوراق وجذر درني في عامه الأول.



اليمين: نبات الهندباء مزهر وجذر وتدي في عامه الثاني.



:(endivia

يتم البذر في الربيع، ففي السنة الأولى تتكون باقة من الأوراق وكذلك جذر وتدي درني. تحصل على البرودة في الشتاء؛ أثناء العام الثاني، يعطي البرعم النهائي النورة "inflorescence". تتلقى منطقة العنق فترة البرودة == < تحفيز الإزهار في السنة الموالية. بذور الهندباء المزروعة المتشربة تكون قادرة على تقبل الارتباع.

وحسب الأنواع، يوجد احتياج تقريبي مطلق للارتباع (إجباري لدى نبات البنج). يجب على النباتات أن تبلغ حدا معيناً من النمو حتى تتمكن من تقبل المعاملة. بعض النباتات يمكن معاملتها بالارتباع في طورها الجنيني (نجليات، هندباء)، البعض الآخر بعد تشكل عددا من الأوراق (نبات البنج). الارتباع ظاهرة تجميعية "phénomène cumulatif"، بمعنى أننا نطبق هذه المعاملة على فترات. في العموم تخترق البرودة الأنسجة المرستيمية للبراعم. يبدو أن فترة البرودة تعمل على خفض درجة إضافة مجموعة الميثيل (-CH₃) "méthylation" إلى "الدنا DNA": كلما كان "الدنا DNA" عالي الميثيلية كلما كان استنساخ المورثات أو الجينات هاما.
لدى الهندباء، منطقة العنق تبدي تثبيطا للبراعم مما يعيق انتقالها إلى حالة البراعم الزهرية. ميزة الارتباع غير نوعية، أثبتت تجارب التطعيم بين التبغ (الذي لا يحتاج إلى الارتباع) ونبات البنج غير المرتبع == < إزهار النباتين.
أي أن هناك إشارة تنتقل من التبغ إلى البنج. يمكن أن تؤثر الإشارة بجرعات ضعيفة، يكفي في تجارب التطعيم ورقة واحدة على نبات البنج غير المرتبع == < الإزهار.

يمكن تعويض المعاملة بالبرودة بمعاملات أخرى: المعاملات البديلة "les traitements vicariants". أمثلة:

- ❖ -المعاملة بالجبرلين يمكن أن تعوض عملية الارتباع لدى النباتات في حالة الباقة.
- ❖ -نقص الأوكسجين "anoxie" لمدة 3 إلى 4 أيام في جو غني بالإيثيلين، يحث الإزهار لدى الهندباء.
- ❖ -المعاملة بدرجة الحرارة العالية أو ضمن شروط تغذية خاصة يمكن حث الإزهار، فمثلا: == < نبات "الخنازيرية
- المجنحة "scrofulaire ailée" (Scrophularia): 8 أسابيع في 3°م = 3 أسابيع في 32°م نهارا و 27°م ليلا.

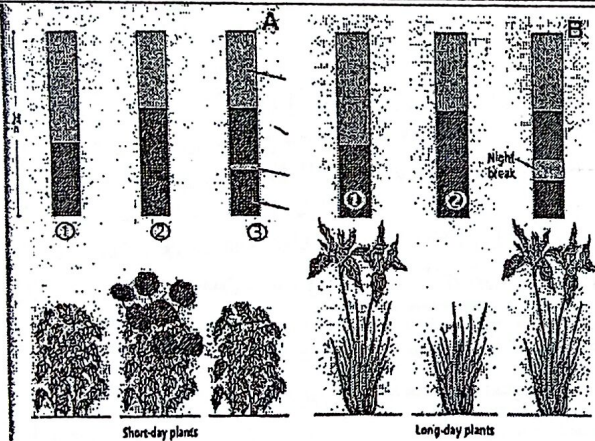
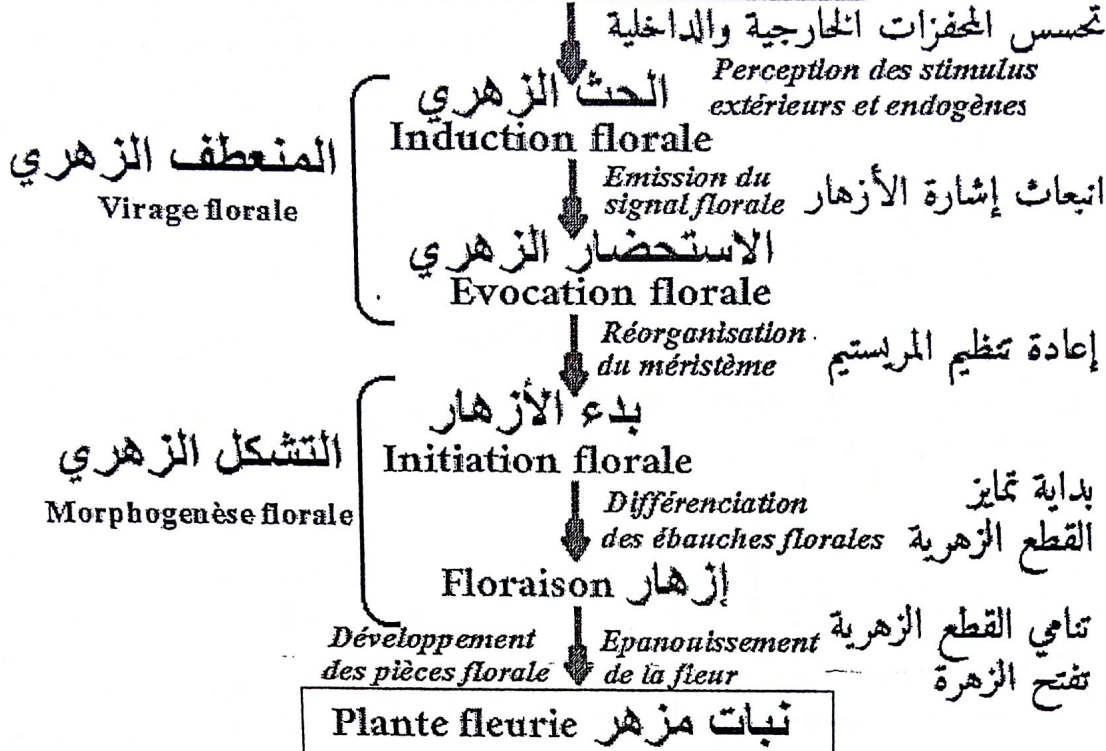
وحسب الأنواع، يوجد احتياج تقريبي مطلق للارتباع (إجباري لدى نبات البنج). يجب على النباتات أن تبلغ حدا معيناً من النمو حتى تتمكن من تقبل المعاملة. بعض النباتات يمكن معاملتها بالارتباع في طورها الجنيني (نجليات، هندباء)، البعض الآخر بعد تشكل عددا من الأوراق (نبات البنج). الارتباع ظاهرة تجميعية "phénomène cumulatif"، بمعنى أننا نطبق هذه المعاملة على فترات. في العموم تخترق البرودة الأنسجة المرستيمية للبراعم. يبدو أن فترة البرودة تعمل على خفض درجة إضافة مجموعة الميثيل (-CH₃) "méthylation" إلى "الدنا DNA": كلما كان "الدنا DNA" عالي الميثيلية كلما كان استنساخ المورثات أو الجينات هاما؛ أي أن هناك إشارة تنتقل من التبغ إلى البنج. يمكن أن تؤثر الإشارة بجرعات ضعيفة، يكفي في تجارب التطعيم ورقة واحدة على نبات البنج غير المرتبع == < الإزهار.

يمكن تعويض المعاملة بالبرودة بمعاملات أخرى: المعاملات البديلة "les traitements vicariants": أمثلة: 8- المعاملة بالجبرلين يمكن أن تعوض عملية الارتباع لدى النباتات في حالة الباقة.

- &- نقص الأوكسجين "anoxie" لمدة 3 إلى 4 أيام في جو غني بالإيثيلين، يحث الإزهار لدى الهندباء.
- &- المعاملة بدرجة الحرارة العالية أو ضمن شروط تغذية خاصة يمكن حث الإزهار، فمثلا: <== نبات "الخنازيرية المجنحة" "scrofulaire ailée" (Scrophularia): 8 أسابيع في 3م°= 3 أسابيع في 32م° نهارا و 27م° ليلا.

مختلف مراحل الانتقال إلى الحالة
التكاثرية لدى مغطاة البذور
Les différentes étapes du passage
à l'état reproducteur chez une angiosperme

نبات خضري Plante végétative



II -4- التوافق الضوئي photopériodisme : يعني مجموع
المؤثرات المحدثة بواسطة المدة النسبية للنهار والليل على العديد
من الظواهر الفسيولوجية.

الشكل: تقيس النباتات طول الليل.

[A] نباتات نهار قصير.

[B] نباتات نهار طويل.

(1) تزهّر نباتات النهار الطويل فقط؛ (2) تزهّر نباتات النهار
القصير فقط؛ (3) عند قطع الليل بالضوء الأبيض فإن نباتات النهار
القصير لا تزهّر؛ بينما نباتات النهار الطويل تزهّر، رغم أنها
وضعت في ظروف النهار القصير. (عود إلى فصل التوافق الضوئي
والفيتوكروم).

II -5- التوافق الحراري Le thermopériodisme :

يتم إحداث الإزهار بواسطة التوافق الحراري، بمعنى آخر، أي التناوب بين البرودة والحرارة. مثال: التوليب، الياقوتية
"Hyacinthus"، الأشجار المثمرة. ويمكن سرد بقية أنماط تفاعلات النباتات اتجاه الحرارة فيما يلي:

يمكن أن تكون النباتات عديمة الحساسية اتجاه الحرارة؛

يمكن أن تكون النباتات مفضلة: لا تحتاج إلى البرودة، ولكن تعجل في المنعطف الزهري. مثل المحاصيل الشتوية "céréales"

"d'hiver"، القرنيات الفراشية "légumineuses" والنباتات ثنائية الحول "bisannuelles".

نجد أيضا النباتات التي تحتاج بالضرورة المطلقة إلى الارتباع "vernalisation"، وهي نباتات تقضى الشتاء في حالة باقة

أوراق "rosette"، وبالتالي فإن البراعم يجب أن تمر بفترة ارتباع.

II -6- العوامل الغذائية Facteurs trophiques :

عندما تكون التغذية غنية، تساعد على النمو الخضري، إذا كان النمو الخضري هاما يمنع الإزهار. إذا كانت التغذية ضعيفة يحدث

تثبيط للنمو الخضري==> تحفيز للإزهار.

يوجد تنافس بين النمو الخضري ونمو الأعضاء التكاثرية؛ تقليم الأشجار المثمرة، نحذف البراعم الخضرية لضمان تموين جيد للبراعم الزهرية.

نسق نوعي **Ordre qualitatif**: تغذية غنية بالنيتروجين تساعد على النمو الخضري، بينما التغذية الكربونية تساعد على الإزهار، إنها النسبة بين **[C/N]** هي الهامة؛ وبعبارة أخرى: **Rapport: C/N** إذا كان المعامل جد مرتفع فوق 20، يعني ذلك، نقص في النتروجين: نمو سيئ للنبات

C/N très supérieur à 20 => carences en azote : la plante pousse mal

C/N > 20, floraison puis fructification

المعامل < 20: إزهار متبوع بالإثمار

C/N < 20, fort développement végétatif

المعامل > 20: نمو خضري عال

II- 6- 1- التداخلات بين الأعضاء **Interactions entre organes**:

- ❖ - تتدخل مختلف الأعضاء النباتية في المنعطف الزهري
- ❖ - يقم المنعطف الزهري نمطين من الأعضاء: الأوراق البالغة: أماكن التحسس للمحفز الزهري، المرستيم يستطيع الإحساس بالإشارة ليتحول إلى برعم زهري.
- ❖ - المحفز الزهري.

الارتجاع، المرستيم موضع التحسس بالمعاملة بالبرودة وموضع التشكل "**la morphogenèse**". إذا تم اضطراب في التداخلات بين الأعضاء أثناء الحث الزهري، بقطع الجذور، حذف ورقة بالغة أو ورقة فتية، يمكن أن يحدث تحفيز أو تثبيط للإزهار. كل الأعضاء تظهر أثناء الانتقال إلى طور الإزهار تأثيرا على هذا الانتقال.

III- 1- وجود إشارات متحركة للإزهار **Existence de signaux mobiles de la floraison**:

تم إجراء تجارب على نباتات عرضت مسبقا للتوقيت الضوئي، أي أن لدينا محفز إزهار من أصل ورقي يهاجر إلى البرعم الخضري.

يتم نقل محفز الإزهار بعد حوالي 14 ساعة من بداية معاملة التحفيز، أي تطبيق ظروف النهار الطويل "**JL**", يهاجر المحفز لمدة 12 ساعة. ينتقل هذه الأخير عبر النسغ الكامل، أي داخل اللحاء. لقد تم إثبات ذلك بتجارب التطعيم. تطعيم نبات محفز على ثبات غير محفز، يؤثر معاملة التحفيز شريطة أن يكون تواصل بين لحاء النباتين. أي أن المحفز غير نوعي. عندما توضع أوراق نبات محفز في ظروف غير مناسبة، تنتج الأوراق عامل مثبط يهاجر مع النسغ الكامل داخل اللحاء.

III- 2- فرضية هرمون الفليوريجان ومضاد الفليوريجان **Hypothèse des hormones florigène et antiflorigène**:

منذ 1936 وضع عالم النبات الروسي "**Chailaklyan**" الفرضية التالية: يكون المحفز للإزهار عبارة عن هرمون: الفلوريجان **florigène** أما العامل المثبط: مضاد الفليوريجان **antiflorigène** لقد تم أول اكتشاف كبير في عام 2005: البروتين **FT** نسبة إلى ("**Flowering Locus T**")، الذي ينشط الإزهار وينتج في الأوراق ولكنه يعمل في البراعم عند مهد تشكلها الزهري. في دراسات أخرى، فريق إنكليزي لجورج كويلاند كان أبرز سابقا دور جين يسمى **(CO)** نسبة إلى "**Constans**" له دور في تنظيم إنتاج بروتين صغير يعرف بالفليوريجان **florigen**، في حالة التوافق الضوئي الجيد.

III- 3- فرضية الانحراف أو التبديد الغذائي **Hypothèse du détournement trophique**:

- ①- تم اقتراحها من طرف "**ساش وهاكيت**، 1977, **Sachs et Hackett**". يتطلب الحث الزهري أساسا تحسين التموين الغذائي للمرستيم على حساب بقية الأعضاء. يتم انحراف السكريات لصالح المرستيم. لقد تم ملاحظة ارتفاع للسكر في النسغ الكامل للبرعم الطرفي بالنسبة للنباتات المحفزة للإزهار. لقد تم التأكد من ذلك لدى العديد من النباتات خضعت لظاهرة التوافق الضوئي وأخرى للإرتجاع. الفرضية مرضية في بعض الحالات، ولم يتم التأكد منها لدى البعض الآخر.
- ②- نبات الخردل **Moutarde** (نبات نهار طويل **plante de JL**) يمكن رفع مستوى السكر في تجريبيا في النسغ الكامل وفي مستوى المرستيم، دون أن تحدث عملية الإزهار.

III- 4- فرضية الرقابة متعددة العوامل **Hypothèse du contrôle multifactoriel**:

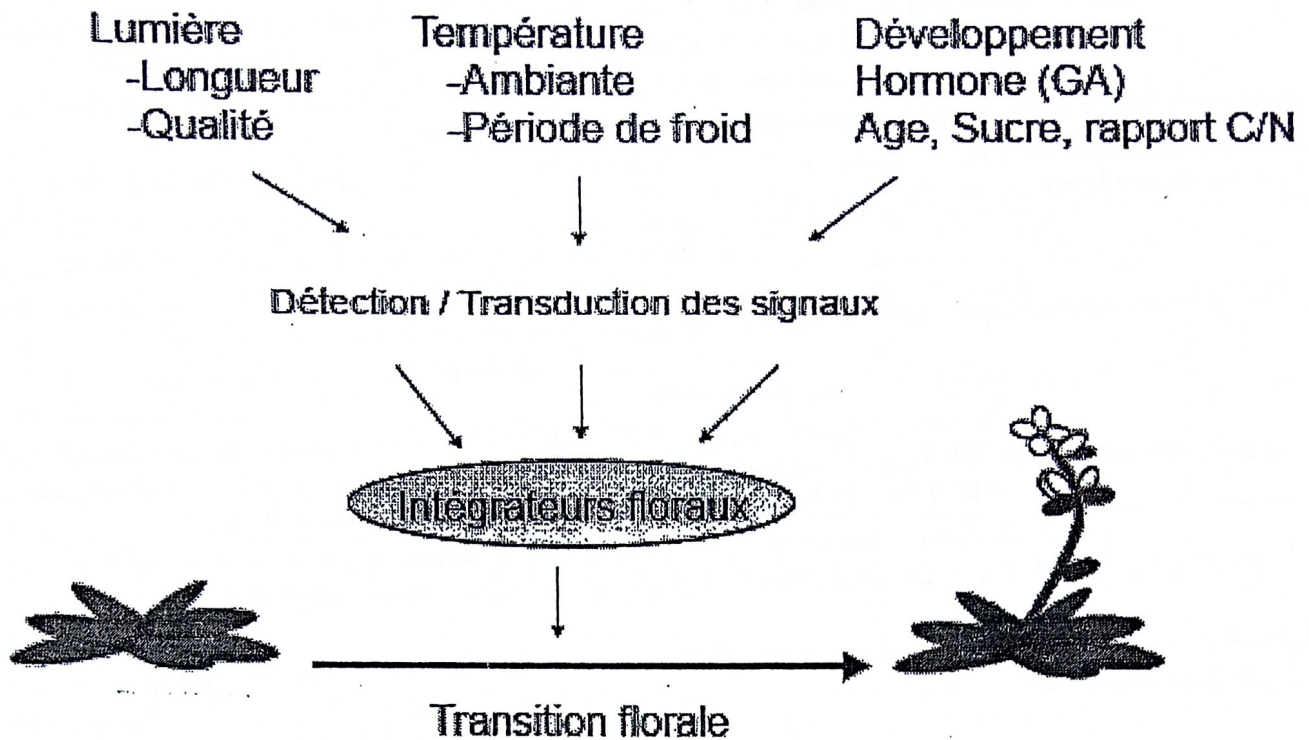
تساهم العديد من العوامل، حسب النباتات، في تحويل البرعم الخضري إلى البرعم الزهري، البعض منها انحراف أو تبديد غذائي وعوامل أخرى (هرمونات نباتية) يمكنها أن تتدخل في عملية الإزهار. الجبرلين: الهرمون الأكثر مساهمة في مراقبة الإزهار. السيوكينين: هرمون يطبق بتركيز ضعيف، له تأثير محفز للإزهار؛ وعلى العكس فإن إضافة الأوكسين غالبا ما تكون مثبطة للإزهار. نفس الشيء بالنسبة لحمض الأبسيسيك. يمكن للأنواع النباتية أن يحفز أو يثبط أو يثبط ظهور الإزهار.

III- 5- الخلاصة:

تحاول هذه المراقبة متعددة العوامل منح كل المعطيات التجريبية؛ حسب هذه الفرضية، لا يمكن للإزهار أن يتم إلا إذا كان تركيز العديد من العوامل المحثة والمثبطة، وعوامل من طبيعة غذائية (مثل: السكر)، ومن طبيعة هرمونية تكون في مجملها ملائمة في مستوى المرستيم أو البرعم الخضري. التعرض، يمكن بعث الإزهار لغرض تصحيح العوز أو الزيادة لتلك العوامل الغذائية أو الهرمونية. حاليا الأبحاث جارية على مستوى المراقبة الجينية للإزهار؛ لاحظ المخطط التالي:

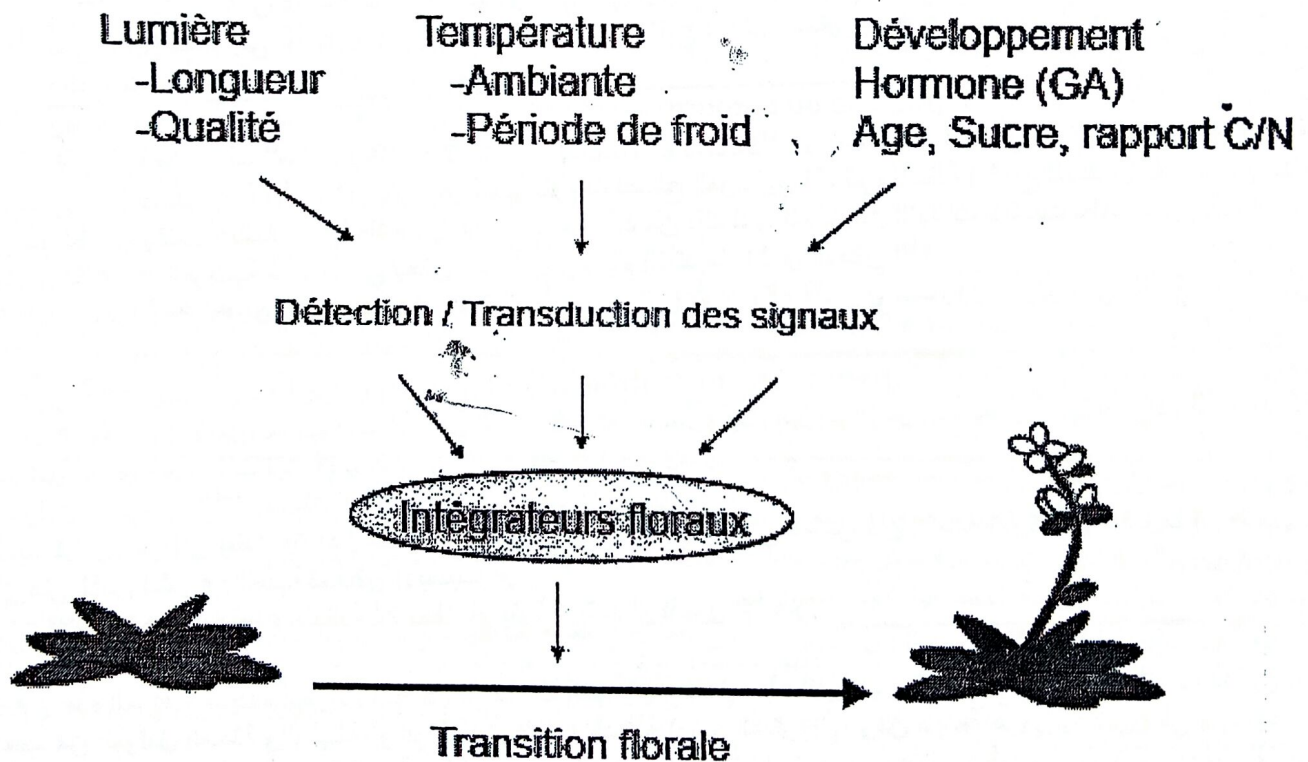
1) Introduction, environnement et floraison

Plusieurs voies à intégrer



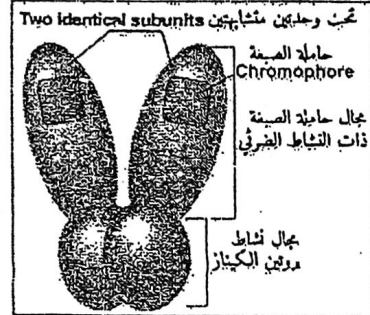
1) Introduction, environnement et floraison

Plusieurs voies à intégrer



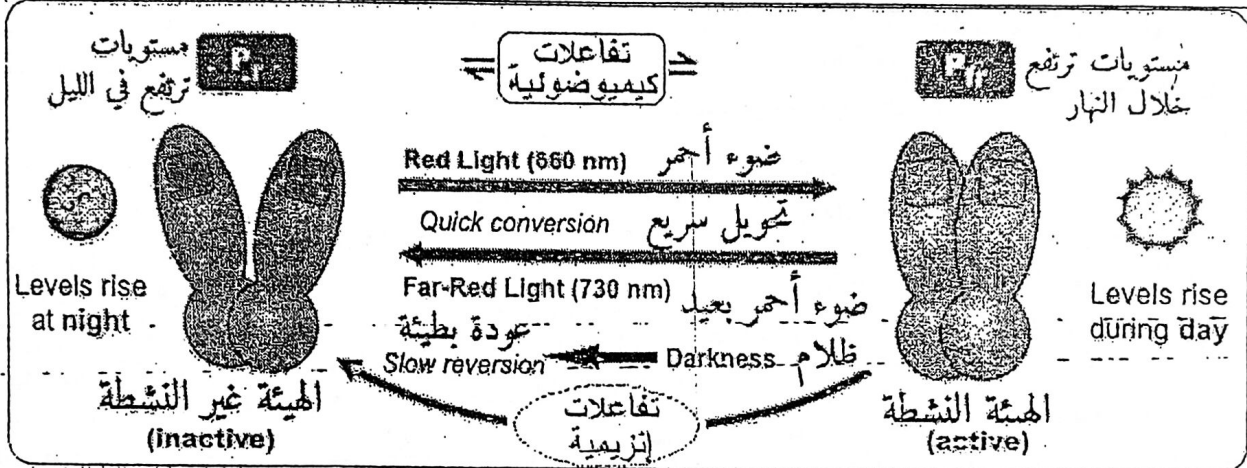
<p>مقدمة</p> <p>1- طبيعة البنية الكيميائية للفيتوكروم & 2- البناء الحيوي & 3- الخصائص الطيفية والتأثيرات الفسيولوجية للفيتوكروم & 4- التشكل الضوئي للنبات & 5- الفيتوكروم والأنزيمات</p> <p>أود معرفة طبيعة ما أسماه الدكتور فرانش "هذه الصبغة مهد الخيال". أوستر (1957).</p> <p>J'aimerais connaître la nature de ce que le Dr. French appelle "ce pigment imaginaire" Oster 1957</p>	<p>أحمر بعيد Far Red فصل الفيتوكروم أحمر Red</p>
--	--

مقدمة: الفيتوكروم عبارة عن منظومة من الصبغات، لا تتدخل في البناء الضوئي، ويتواجد في النواة والغشاء البلازمي والصبغات الخضراء والميتوكوندريا والسينتوزيلازم للخلايا القادرة على رصد الإشعاعات الضوئية. يرتبط الفيتوكروم مباشرة بآليات التشكل المورفولوجي. وهو عبارة عن معقد حساس للضوء متجدد مع البروتينات. ويختلف الفيتوكروم عن كل الصبغات النباتية الأخرى إذ بإمكان وجوده على هينتين قادرتين على امتصاص الضوء. ويمكن لكل هيئة أن تتحول عكسيا إلى الهيئة الأخرى بامتصاص نوع معين من الضوء.



بنية الفيتوكروم

يتكون الفيتوكروم من اثنين من البروتينات مع اثنين من المجالات؛ مجال واحد يحتوي على حاملة صبغة ويعمل كمستقبل للضوء؛ المجال الآخر لديه نشاط بروتين كيناز الذي يؤدي للاستجابات الخلوية.



بعض خصائص صبغة الفيتوكروم- تكون هذه الصبغة:

- قابلة للذوبان في الماء؛ إذن يمكن استخلاصها بنفس طريقة استخلاص البروتينات (الهرس والترسيب والطرء المركزي والكروماتوغرافيا)؛
- غزيرة في مستوى السيقان والجذور؛ التركيز العالي للهيئة [Pfr]، عادة ما يكون ساما، وبالتالي تتحطم باستمرار على مستوى الخلية إما بواسطة:

- امتصاص الضوء الأحمر البعيد فتتحول إلى الهيئة (Pr)؛
- أو بالتحلل الانزيمي أثناء الليل، وقد يأخذ هذا التحلل ساعة إلى عدة ساعات ويكون متعلقا بـ:
- الـ pH ودرجة الحرارة (العالية تحدث تفسخ)، وعليه:
- أثناء النهار: فإن كل جزينات الـ Pr لا تتحول إلى الـ Pfr، حيث يتحول منها 80% فقط؛
- نفس الشيء بالنسبة لليل: ليس كل جزينات الـ Pfr تتحلل، بل تبقى حوالي 5% منها غير متحللة.
- إذن في كل لحظة، هناك كمية من الـ Pfr النشطة وكمية من الـ Pr غير النشطة، سواء أثناء النهار أو أثناء الليل.
- إذن تُحدد: حالة التوازن الضوئي بالمعامل: Pfr/P أو Pfr/Pr ؛ كما يرمز لهذا المعامل بالحرف الإغريقي (ζ =Zeta) ويتأرجح هذا المعامل ما بين 0.8 إلى 0.02؛ وفق فترة اليوم: بداية النهار ونهاية النهار وبداية الليل ونهاية الليل... الخ.
- وعليه فإن حسابية النباتات نحو الضوء متباينة جدا وفق القيمة الدقيقة لهذا المعامل.

أمثلة عن انبات البذور:

الحساسية للضوء	مستوى الـ Pfr	طبيعة الاحتياج للضوء مع السبب	% في الفلورة النباتية مع أمثلة لبعض البذور
بذور موجبة (+)	منخفض	الأحمر، للرفع من مستوى الـ Pfr	70%، مثل بذور الخس
بذور سالبة (-)	مرتفع	أحمر بعيد أو ظلام، للخفض من مستوى الـ Pfr	25%، مثل بذور التبغ
بذور حيادية	متوسط	ظلام أو ضوء، لا يؤثر كثيرا في مستوى الـ Pfr	05%، الفجل ومعظم النباتات المزروعة.

ملاحظات:

أ- الزيادة في ارتفاع مستوى الـ Pfr تؤدي إلى تثبيط الانبات؛

ب- الانخفاض الشديد للـ Pfr يمنع الانبات؛

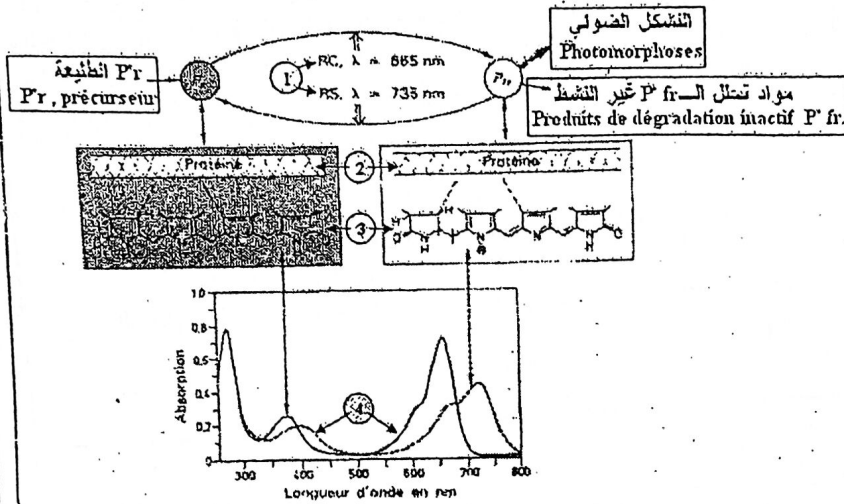
ج- كما أن طبيعة استجابة النباتات للضوء تعتمد على: أ- نوعية الإضاءة ومدتها، ب- حالة التوازن الضوئي للنبات أي المعامل؛

الكلمة) Pfr/P أو Pfr/Pr.

1- طبيعة البنية الكيميائية للفيتوكروم وخصائصه الطيفية ونمط تأثيرها:

1-1 كيمياء الفيتوكروم La chimie du phytochrome

الفيتوكروم عبارة عن بروتين ملون "chromoprotéine"، مكون من حاملة الصبغة "chromophore" وبروتين سطحي "apoprotéine". عند تحول شكل الفيتوكروم "Pr" إلى الشكل "Pfr"، فإن شكل حاملة الصبغة والبروتين السطحي، تتلقيا تبدلات أو تغييرات، كما هو موضح في الشكل (1-5) (Lüttge, Kluge et Bauer ; 1996).



الشكل:

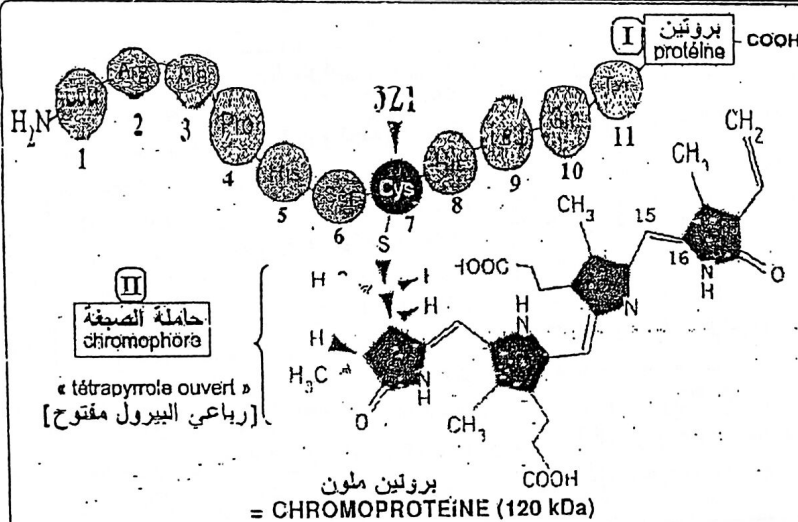
- (1)- نظام التحول والتحول العكسي للفيتوكروم (Pr/Pfr)، تحت تأثير الضوء الأحمر (RC) والأحمر البعيد (RS)؛
- (2)- الجزء البروتيني للفيتوكروم؛
- (3)- السلسلة رباعية البيرول المتصلة برابطتين تساهميتين مع الجزء البروتيني؛
- (4)- منحنا امتصاص الفيتوكروم.

الفيتوكروم بروتين ملون مزرق "bleuâtre"، حيث ينحصر أقصى امتصاص له:

• عند 667 nm ناتومر بالنسبة إلى Pr (P=صبغة=r=أحمر=Red=Rouge Clair)؛

• و 730 nm ناتومر بالنسبة إلى Pfr (fr=أحمر بعيد=Far Red=Rouge Sombre).

وترجع خصائص هذه التحولات العكسية الكيمووضوئية غير الاعتيادية لتلك التداخلات المعقدة بين حاملة الصبغة "chromophore" والبروتين السطحي "apoprotéine". تتكون حاملة الصبغة من سلسلة رباعية البيرول "chaîne tétrapyrrolique" مفتوحة، صيغتها تشبه صيغة الفيكوساينين "phycocyanine"، الشكل (2-5)، ولا تختلف عنها سوى بتعويض مجموعة (-CH₂-CH₃) بمجموعة (-CH=CH₂) في الحلقة (D). تكون الحلقة (A) لحاملة الصبغة مرتبطة تساهميا، برابطة كبريتية إستيرية "thioester". لحمض البيسيتين من البروتين السطحي، الشكل (2-5).



الشكل (2-5): البنية المحتملة لحاملة

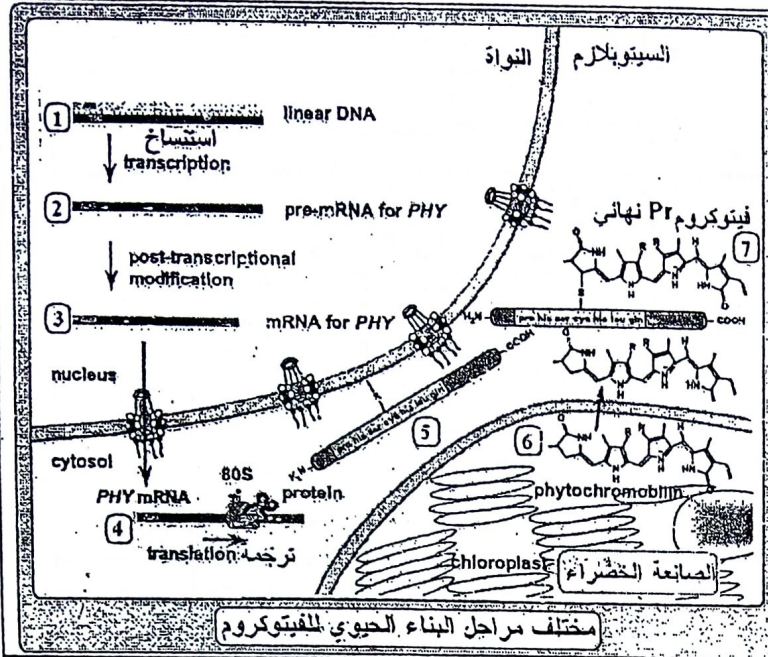
الصبغة للفيتوكروم مع البروتين السطحية (I)، ترتبط حاملة الصبغة (II) أي السلسلة رباعية البيرول (A,B,C,D) مع البيسيتين رقم 321 برابطة كبريتية إستيرية.

قدرت الكتلة الجزيئية "masse moléculaire" للبروتين السطحية للفيتوكروم، لكل من نبات القرع "Cucurbita sp." بـ 120 kDa كيلودالتون، و 127 kDa كيلودالتون بالنسبة للذرة الصفراء "Zea mays". كما قدرت الكتلة الجزيئية لفيتوكروم نبات الشوفان=الخرطال "Avena sativa"، والتي حظيت بدراسة واسعة بـ 124 kDa كيلودالتون. إن دراسة التسلسل لمتعدد البروتين لفيتوكروم هذا النبات قدر 1128 حمض أميني، وترتبط حاملة الصبغة بالبيسيتين رقم 321، الموجود ضمن 11 حمضا أمينيا من القطعة النهائية جهة (-NH₂) لنهاية البروتين، الشكل (2-5).

تدل المعطيات الكيميائية الحالية بأن حاملة الصبغة، تكون مغلقة داخل تجويف من البروتين الملتف، مما يحميها من المحيط المائي. كما أن دراسة نسبة توزع الأحماض الأمينية الكارهة والمحبة للماء في بروتين فيتوكروم نبات الشوفان، تدل على أن هذا البروتين السطحي له خصائص محبة للماء نسبيا، مما يمنح خصائص البروتين الذاتية ذات البنية الكروية "protéine soluble de structure".

globulaire" عوضا عن بروتين غشائي أصلي أو جوهري.

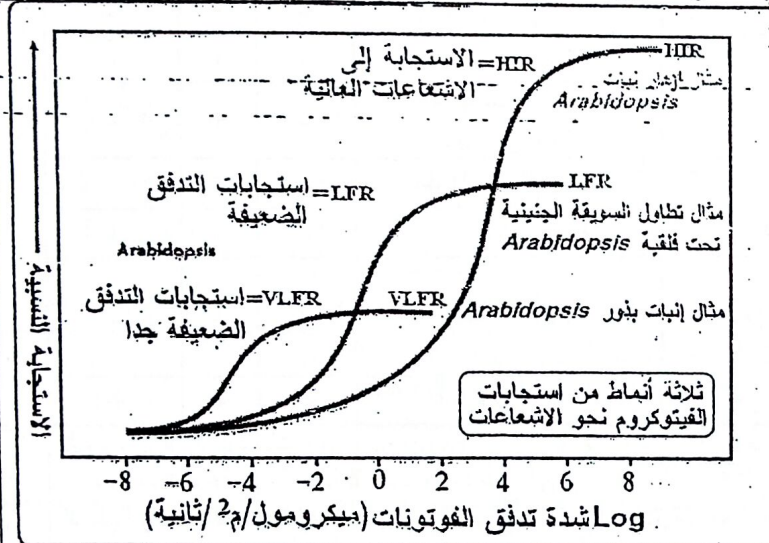
2- البناء الحيوي للفيتوكرومات: يتم البناء الحيوي بتنسيق محكم بين عضيات الخلية النباتية، حيث يتم بناء الجزء البروتيني داخل السيتوبلازم من طرف نواة الخلية، حيث يتم:



(1) استنساخ "الربنا" الرسول الأولي لبروتين الفيتوكروم؛ (2) الذي يتحول إلى "ربنا" رسول ناضج خاص (3) بالبروتين السطحي للفيتوكروم، يغادر النواة عبر الثوب النووية إلى السيتوبلازم، حيث تتم ترجمته (4)، عن طريق ريبوزومات من النوع 80S، فيتشكل البروتين السطحي للفيتوكروم (5). بينما يتم بناء جاملة الصبغة (رباعي البيروول المفتوح) داخل الصانعة الخضراء (6)، يغادر الصانعة إلى السيتوبلازم فيتحد مع البروتين السطحي مشكلا فيتوكروم نهائي (7) على هيئة Pr.

تشفير الفيتوكروم يتم من قبل عائلة من الجينات: إن البحث عن البنية النووية لتشفير الفيتوكروم لدى الكائنات الحية قد كشف عن تسلسل الجينومات الكامل، حيث ثبت وجود العديد من الجينات لتشفير الفيتوكروم.

وهكذا، فقد تم تحديد عائلة مكونة من 5 جينات، تسمى (phyA-phyE)، لدى (*Arabidopsis thaliana*)، بينما يحتوي جينوم الرز على ثلاثة جينات فقط (phyA-phyC) وكذلك نبات الجينكو، وأربع جينات لدى الصنوبر. إن الدراسات لجميع رنا رسول المنتجة أثناء عملية النسخ من الجينوم لتشفير الفيتوكروم تبين أن مستوى التعبير يختلف وفقا لظروف النمو.



استجابة الفيتوكروم إلى الإضاءة: من المعلوم أن كثافة الضوء تتغير خلال النهار. كيف يؤثر هذا التغير على استجابة الفيتوكروم؟ - عندما يتم قياس شدة الاستجابة الفسيولوجية نفسها، على سبيل المثال إنبات بذور *Arabidopsis* كدالة لشدة الضوء لتحفيز التحول من Pr إلى Pfr، لوحظ وجود علاقة نسبية فقط على مساحة منخفضة من النطاق الذي تم اختباره (المنحنى). في المثال السابق، لوحظ إنبات بذور *Arabidopsis* فقط لمنطقة 10^{-6} - 10^{-3} ميكرومول فوتون م⁻² ثانية⁻¹. وهو يتوافق مع استجابة التدفق المنخفضة جدا (VLFR). في هذه المنطقة، لا يلاحظ انعكاس استجابة الفيتوكروم عن طريق الإضاءة الحمراء البعيدة (المنحنى).

منطقة الاستجابة الثانية تمتد ما بين 10^{-2} - 10^{-1} ميكرومول فوتون م⁻² ثانية⁻¹، (المنحنى). ويطلق على هذا النطاق مدى استجابة التدفق الضعيفة (LFR). لقد ورد في الجدول، بعض الأمثلة على الظواهر الفسيولوجية التي تستجيب لهذا المدى من التدفق. إن مسار هذه الظواهر يتم تثبيطها من قبل إضاءة بالأحمر البعيد FR. كما إن دراسة التغيرات في شدة الاستجابات الفسيولوجية، التي يسيطر عليها الفيتوكروم، مقابل شدة ضوء التهيج للمستقبل الضوئي تظهر ثلاث مناطق، وهي منطقة استجابات لتدفقات الضوء الضعيفة جدا (VLFR)، وتدفقات الضوء الضعيفة (LFR) والإشعاعات العالية (HIR). كل ظاهرة تتوافق مع منطقة الاستجابة. يتم تشغيل عدد من الظواهر فقط من قبل الإشعاعات القوية (HIR)، أي أعلى من 10^4 ميكرومول فوتون م⁻² ثانية⁻¹ (المنحنى). في منطقة الشدة هذه، تكون الظواهر الناجمة أيضا لرجعة فيها. لقد تمت الإشارة في الجدول (في الصفحة الموالية) إلى بعض أنماط من هذه الظواهر.

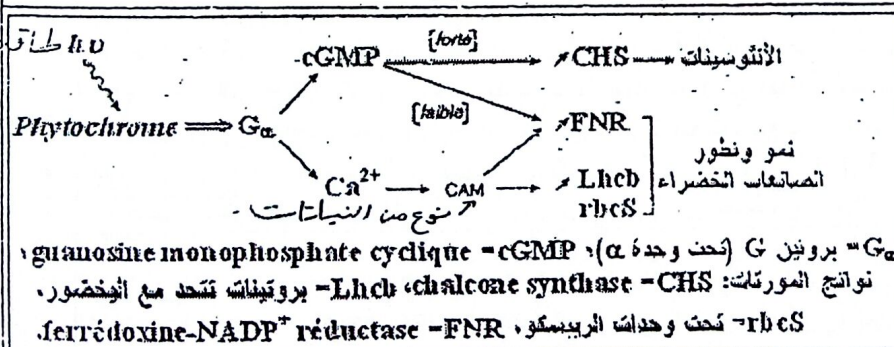
يبدو أن الفيتوكروم يؤثر على الأنماط الخلوية عن طريق التحورات الشكلية التي تغير من الخصائص الفسيولوجية، فتعطي إمكانية مرور الأيونات، لبعض الهرمونات و ATP. كما تؤثر الفيتوكروم على المستوى النووي، إما حائه وإما كاجبة لبعض المورثات "الجينات" genes. فعندما تكون على هيئتها النشطة تسمح بنشاط الكيناز "Kinases". وفيما يلي نسرّد باختصار بعض الأمثلة للتأثيرات المحدثة بواسطة الفيتوكروم:

- انتوفاقت الضوئي المحفز للإزهار؛
- حركات الانجرافات الليلية للأوراق؛
- الحساسية للتحجاء الضوئي؛
- إنبات البذور؛
- تطاول السوق؛
- فتح عتكاف الرويشة؛
- كبر الأوراق والفلقات؛
- نمو الصياغات الخضراء؛
- تمثيل الأنثوسيانين؛
- تمثيل اليخضور والكاروتينات؛
- تعديل البروتينات؛
- ترجمة مجموع "الربنا-الرسول" RNA-m؛
- جهد النقل الغشائي.
- جهد المساحة

(قم الجذور)؛ بح- حركات الانجذاب الضوئي للصناعات الخضراء.					
الجدول: حساسية الظواهر الفسيولوجية لمجموعة من الشدات الضوئية التي يسيطر عليها الفيتوكروم. [+] يسيطر ؛ [-] لا يسيطر.					
		VLFR	LFR	HIR	
Types de phénomènes أنماط الظواهر		Taxons التصنيفية			
الانبات Germination		<i>Arabidopsis</i>	+	-	-
		الخس <i>Laitue</i>	-	+	-
التمو Croissance	غمد الرويشة <i>Coléoptile</i>	الخرطال <i>Avoine étiolee</i>	+	-	-
	السويقة الجنينية فوق فلقية <i>Mésocotyle</i>	الخرطال <i>Avoine étiolee</i>	+	-	-
	السويقة الجنينية تحت فلقية <i>Hypocotyle</i>	الخرذل <i>Moutarde</i>	-	-	+
		الخس <i>Laitue</i>	-	-	+
		تبغية (بيتونيا <i>Pétunia</i>)	-	-	+
	السرخس <i>Fougère</i>		-	+	-
تنامي الأوراق Dévelo. foliaire	تطاول السلمييات <i>Elongation de l'entre-nœud</i>	البازلاء <i>Pois</i>	-	+	-
	انبساط الأوراق <i>Déroulement</i>	الخرطال <i>Avoine</i>	-	+	-
	تكوين الأكتاف <i>Formation des primordia</i>	الخرذل <i>Moutarde</i>	-	+	-
حركة الأوراق <i>Mouvement des feuilles</i>		الفاصوليا <i>Haricot</i>	-	+	-
إزهار Floraison		الحسك <i>Xanthium</i>	-	+	-
		البنج <i>Hyoscyamus</i>	-	+	-
صانعات خضراء Chloroplastes	التضاعف <i>Réplication</i>	الحزاز <i>Mousse</i>	-	+	-
	التوجيه <i>Orientation</i>	طحلب أخضر جتن <i>Mougeotia</i>	-	+	-
كيمياء حيوية Biochimie	أنتاج الأنثوسيان <i>Production d'anthocyane</i>	الخرذل <i>Moutarde</i>	-	+	-
		بشرة ثمرة التفاح	-	-	+
	سرعة تراكم اليخضور <i>Vitesse d'accumulation de la chlorophylle</i>	الصنوبر <i>Pin</i>	-	+	-
	إنتاج الإثيلين <i>Production d'éthylène</i>	الذرة <i>Sorgho</i>	-	-	+

1-3 دور الفيتوكرومات: Rôle des phytochromes ينظم الفيتوكروم العديد من الآليات عند النباتات مثل:

بح- ضبط الساعة البيولوجية الداخلية، وكذلك تنظيم الإيقاعات الداخلية "les rythmes endogènes"، بح- إنبات بعض البذور، بح- الحركات النباتية (الانحرافات الضوئية *photonasties*)، بح- حث الإزهار لدى نباتات النهار الطويل وكذلك نباتات النهار القصير، بح- وكذلك البناء الحيوي "biosynthèse" للعديد من المواد مثل الأنثوسيانينات "anthocyanes"، الفلافونات "flavones"، البروتينات بح- يجب الإشارة إلى أن الفيتوكروم ينظم أيضا البناء الحيوي للبروتين "ARN-m, ARN-r & ARN-t" الخاصة به.

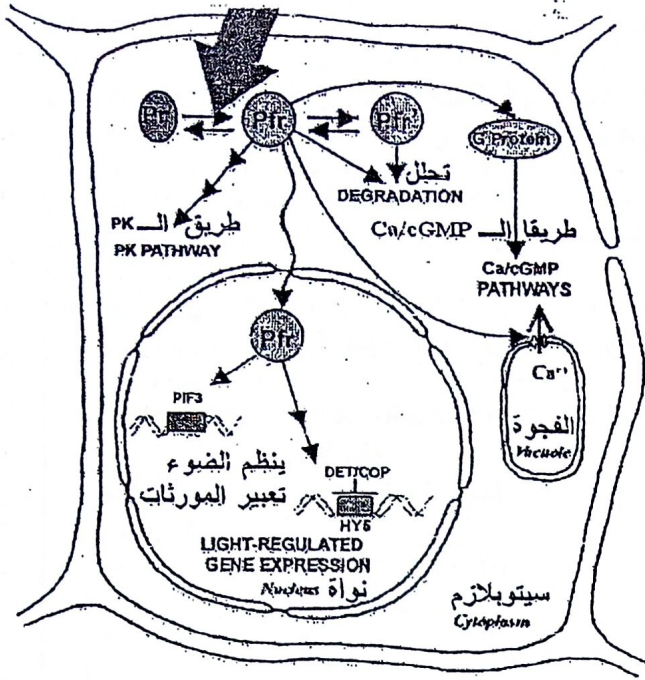


2-3 توصيل أو استقبال الإشارات
Transduction des signaux lumineuse

عن طريق الفيتوكروم: Via les phytochromes إن طريق النقل التوصيلي للفيتوكرومات يستعمل في العديد من استجابات النباتات مثل إنبات البذور، التشكل الضوئي، التوافق الضوئي واستجابة تجنب الضوء.

إن طريق الفيتوكروم يتخلل تدخل البروتين "protéine G" التي تنشط مسارين للنقل التوصيلي متوازيين، الشكل (5-5):

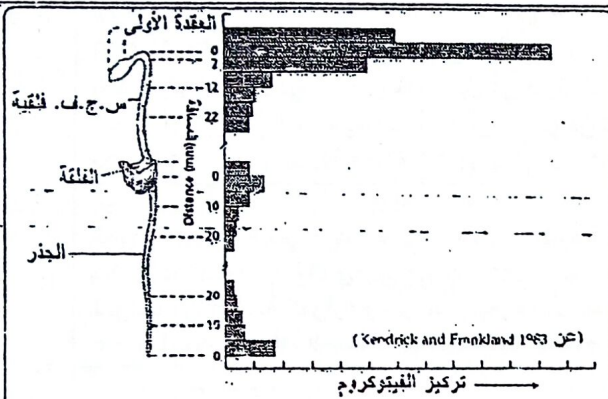
الشكل (5-5): نموذج النقل التوصيلي للإشارات الضوئية عن طريق الفيتوكروم والتي تؤول إلى نمو الصانعات الخضراء والبناء الحيوي للأنثوسيانينات (عن HELLER).



مخطط إجمالي لطرق نقل الإشارة لدى الفيتوكروم

٥- مسار الجوانين أجاڊي الفوسفات، الـGMP
٦- ومسار الكالسيوم " Ca^{2+} ". يكون المسار GMPc مسؤول عن إنتاج الأنثوسينات "anthocyanes"، بينما مسار الكالسيوم تقود إلى التعبير المورثي = الجيني الضروري لنمو وتطور الصياغات الخضراء مثل المورثة rbcS التي تشفر تحت الوحدات الصغيرة لإنزيم الريبسكو "Rubisco"، الشكل (5-5) والشكل المجاور.

3-3 توزيعه في النبات Répartition dans la plante: تتواجد الفيتوكرومات بكميات قليلة في النبات. تكون في النهار على هيئة "P730" (تمتص طول الموجة 730 نانومتر، $\lambda=730\text{nm}$). وفي الليل تكون هذه الفيتوكرومات على هيئة "P660". الشكل النشط هو "P730"، أثناء الليل يتحول إلى الشكل غير النشط فيحدث لها "turn-over".
تنتشر هذه الصبغة لدى كل من النباتات الراقية والنباتات والحزازيات و السرخسيات.



الشكل (5-6) : تركيز توزع الغيتوكروم لدى بذرات الفاصوليا

لَقَدْ قَامَ كُلُّ مَنْ:

Kendrick & Frankland، سنة 1983م بدراسة تركيز توزع الفيتوكروم لدى بادرات الفاصوليا من القنصوبة إلى غاية قمة البرعم الطرفي للمبادرة -البازلاء-، فحصل على النتائج المبينة في الشكل (5-6)؛ حيث تظهر أعلى تركيز للفيتوكرومات في مستوى قمة ساق البادرة، ثم تليها قمة الجذر في مستوى القنصوبة ومنطقة العنق.

3-4 ظواهر يتم التحكم فيها بواسطة إيثونكروم :Phénomènes contrôlés par le phytochrome

التشكل الضوئي الموجب (+) la photomorphose : ومثالها إنبات البذور ذات الحساسية الموجبة للضوء.

النشكل الضوئي السالب (-) la photomorphose: ومثلها نمو الأوراق يحفز بالضوء الأحمر ويثبط بالأحمر البعيد؛ كما أن تثبيط نمو السيقان حيث يحدث تمثيل لإنزيم ليبوكسجيناز "Lipoxygénase" الذي يسمح بإنتاج الإثيلين "éthylène".

التشكل الضوئي المختلط "la photomorphose mixte": ومثالها ظاهرة التوافق الضوئي "photopériodisme"، فهي تحدث عملية حث "induction" أو كبح "répression"، ومثالها ظاهرة الإزهار "floraison".

التأثير على حركة الأوراق: لدى العديد من الأوراق الريشية "pennées" (كتبات الفصيلة القرنية الفراشية Fabacées)، تتلقى حركات الانحراف الليلي "nyctinastiques" (إنها حركة الأوراق التي تنطوي). تتم هذه الحركات عندما تكون كمية الأشكال النشطة كافية في نهاية اليوم. وتنتج الحركة عن التغيرات التفاضلية للتبغاف "turgescence" (خلايا في قاعدة البريقات).

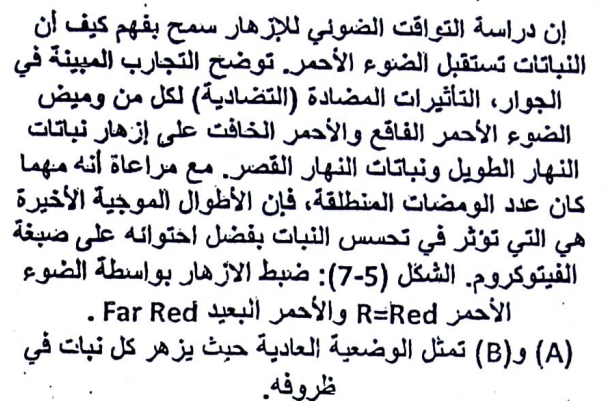
إن تمثيل الصباغات يتبع بتمثيل للإنزيمات: كفتيلاالين امينولياز "PAL=PhénylalanineAmmonialYse" وفيفواينول بيروفات كربوكسيلاز "PEPcarboxylase" وريبولوز ثنائي الفوسفات كربوكسيلاز "Rubisco".

ولقد اعتبر منذ فترة طويلة نتيجة ثانوية لتأثير إيجابي من طرف الفيتوكروم: بناء بعض المركبات الفينولية لتفعيل الـ AIA - (أوكسيداز (Engelsma et Meijer, 1965). لذلك سيكون لدينا تسلسل التفاعلات التالية:

ضوء --- Pfr --- بناء المركبات الفينولية ---> تفعيل الـ AIA - أوكسيداز ---> انخفاض معدل الـ AIA الداخلي ---> نمو بطيء.

3-5 تحسيس الضوء الأحمر/ الأزرق بواسطة النباتات : Perception de la lumière rouge/bleue par les plantes

تظهر معظم النباتات استجابات للضوء، ولكن على عكس الحيوانات، حيث أن تحسين الإشارات الضوئية لا يتم عادة في مستوى البُنىات المتخصصة؛ كمثال لتحسس الضوء الأحمر عن طريق الفيتوكروم، تشير إلى التجارب المنجزة في حالة التوافق الضوئي للإزهار:



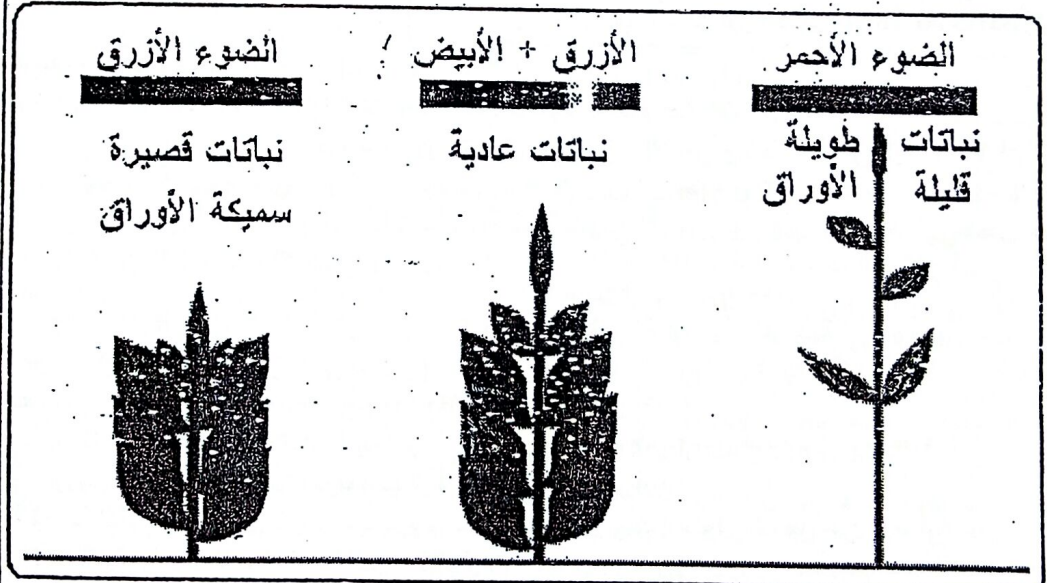
نتائج تجارب قطع الليل في ظروف النهار القصير:

(C) "R" يزهر نبات النهار الطويل

(D) "R/FR" يزهر نبات النهار القصير

(E) و(F): تعتمد على آخر ومضة إذا كانت "R" يزهر نبات النهار الطويل، أما إذا كانت "FR" يزهر نبات النهار القصير.
إن مقارنة هذه النتائج مع أطيايف الامتصاص على هيئة Pr في الشكل (5-1)، حيث يكون أقصى امتصاص محدد في مستوى الأحمر بطول موجة 660 نانومتر والهيئة Pfr، حيث يكون أقصى امتصاص محدد في مستوى الأحمر البعيد بطول موجة 730 نانومتر للفيتوكروم، تقترح بأن هذا الأخير يكون داخلًا في تحسس مدة الليل أي فترة الظلام.
ملحوظة: الهيئة (Pfr) مهمة جدًا في أزهار كل من نباتات النهار الطويل أو القصير، ويجب معرفة أن حدوث أزهار في نباتات طويلة النهار لا بد من تركيز عالٍ من لصبغة الهيئة (Pfr) ولكي يحدث الإزهار في النباتات قصيرة النهار فلا بد من تركيز منخفض من لصبغة الهيئة (Pfr).

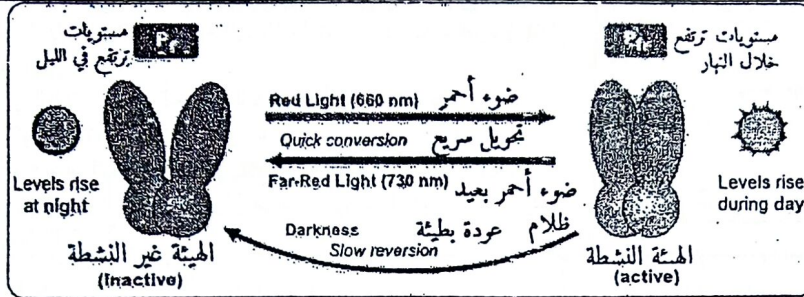
4- التشكل الضوئي للنبات :Photomorphogenèse des plantes : هناك ثلاثة ظواهر طبيعية مرتبطة بالضوء، حيث تؤثر على الإنبات والإيماء، وهي البناء الضوئي، التشكل الضوئي والضوء ظاهرة طبيعية: هذا الضدد هو التشكل الضوئي حيث يمكن تعريفه بأنه التأثير المحدث على النبات بواسطة الإشعاع الشمسي والتوافق الضوئي- والذي يهم في هذا الضدد هو التشكل الضوئي حيث يمكن تعريفه بأنه التأثير المحدث على النبات بواسطة الإشعاع الشمسي والمركب من الأشعة المرئية وغير المرئية. ويهم النبات بالدرجة الأولى الجزء المرئي، بينما تحدث الأطوال الموجية الحمراء إنباء في الطول مع عدد قليل من الأوراق الصغيرة الحجم، بينما الأمواج الزرقاء تعطي نباتات قصيرة ذات أوراق سمكية، كما هو موضح في الشكل (5-8).



الشكل (5-8) عنى اليمين: تأثير طبيعة الإشعاع على التشكل الضوئي للنبات.

الشكل (5-9) على اليسار: على اليمين بادرثان شاحبتانة ننبات البازلاء، وعلى اليسار إنبات عادي ضمن الظروف الطبيعية للبازلاء.

ويلعب الضوء دورا أساسيا كمصدر طاقة للبناء الضوئي بالنسبة لنمو كل النباتات الخضراء. تأثيره كمؤشر يبدو جليا ليس فحسب على مستوى البناء الضوئي، ولكن على العديد من الآليات، التشكل النباتي والجزئي لدى كل النباتات الخضراء. يجب أن نتكلم على النباتات بالدرجة الأولى الخضراء لأن النباتات الراقية لا تشكل اليخضور في غياب الضوء، لأن الإنبات في الظلام أو نمو الأوراق والشيقان في غياب الضوء (بدون نشاط بناء ضوئي) تكون قادرة على التشكل الضوئي. يدل هذا على أن التشكل الضوئي مستقل عن البناء الضوئي، فالنباتات التي تنمو في الظلام غير وملونة، كما لديها شكلا جد مختلفا؛ حيث تكون السلايمات وأعناق الأوراق جد طويلة، بينما تكون المساحة الورقية مختلة، كما تكون العناصر الدعامية والأنسجة الناقنة قليلة النمو. يطلق على هذه الحالة "ظاهرة الشحوب" *étiolement*. تعد زراعة كل من الهليون "*Asparagus officinalis*" والهندباء "*Cichorium endivia*" من التطبيقات الزراعية. تكمن أهمية الشحوب في أن النبات يتأقلم فيحاول توجيه أعضائه البناء الضوئي بتحويلها من الظلام اتجاه الضوء وذلك بتوفير كل المدخرات والطاقة اللازمة لزيادة نمو الأعضاء في الطول الشكل (5-9). إن استعمال إضاءة قصيرة تكون كافية لحمل النبات بعودته إلى حالة النمو الطبيعية "رفع الشحوب" *désétiolement*. إن إجراء تجارب تستند على مقاطع من الإضاءة، تثبت أن التشكل الضوئي يتم التحكم فيه بنظام عكسي يتم تنشيطه بامتصاص الضوء الأحمر (RC) ويتم تثبيطه باستعمال الأحمر البعيد (RS)، الشكل (5-10).



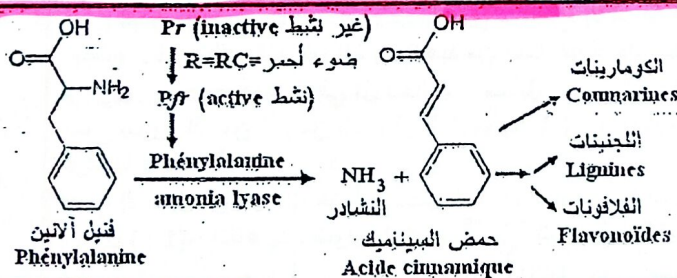
الشكل (5-10): تأثير الضوء الأحمر والأحمر البعيد على نظام الفيتوكروم للاستجابات البيولوجية والتحويلات العكسية. المستقبل للضوء هو الفيتوكروم. ويوجد على هيتين، هيئة الأحمر (Pr) ذو ذروة امتصاص 665 نانومتر (R) وهيئة أحمر بعيد

(Pfr) ذو ذروة امتصاص 735 نانومتر (RS). إن امتصاص الضوء الأحمر يحث الانتقال من الهيئة Pr إلى الهيئة Pfr، ليعطي مرة ثانية Pr تحت تأثير الأشعة (FR). إن القاعدة الأساسية للتحويلات العكسية للتشكل الضوئي المراقب من طرف الفيتوكروم. إن نوعية آخر ومضة هي التي تحدد فيما إذا كان هنالك آليات التشكل الضوئي من عدمه الشكل (5-11).

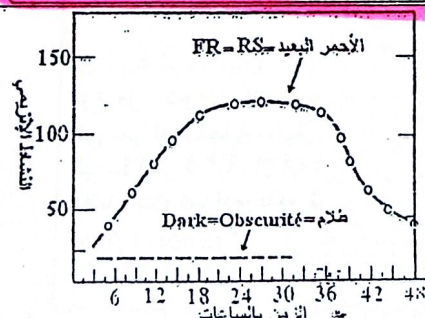
5- الفيتوكروم والأنزيمات: Phytochrome et enzymes

إن نشاط إنزيم (Ferredoxin-Glutamine Oxoglutarate aminotransferase = Fd-GOGAT) يتم تحفيزه بشدة بالضوء، حيث لوحظ إنشاء أخضرار الأوراق الشاحبة، يمكن لهذا الإنزيم (Fd-GOGAT) أن يتضاعف من 3 إلى 20 مرة بحسب النباتات قيد الدراسة. يتم تخفيف هذا النشاط أيضا بواسطة الفيتوكرومات التي تؤدي إلى استنساخ المورثات ذات الصلة (Hirel et Lea 2001).

يعتقد بأن تغيرات بعض الإنزيمات، تعتمد على التفاعلات العكسية للفيتوكروم $R \rightarrow FR$ وبعبارة أخرى يلعب الفيتوكروم دورا مهما في تغيرات فعالية بعض الإنزيمات. ومن الإنزيمات التي حظيت بدراسة واسعة في هذا المضمار، إنزيم **الفينيل ألانين أمونيا لياز** "Phenylalanine ammonia lyase" الذي يساهم في تحويل الحامض الأميني فينيل ألانين إلى مركب حمض السيناميك "acide cinnamique"، وبذلك يتغير مجرى العمليات الحيوية في تكوين البروتينات إلى مجرى تكوين المركبات الفينولية "composés phénoliques"، ككوكيون دسيفات الأنثوسيانين "anthocyanines" والفلافونيدات "flavonoids" واللجنين "lignine" والكومارينات "coumarines" كما في الشكل (5-11).



الشكل (5-11): تأثير الفيتوكروم على تكوين الإنزيمات، وكمثال: إنزيم فينيل ألانين أمونيا لياز.

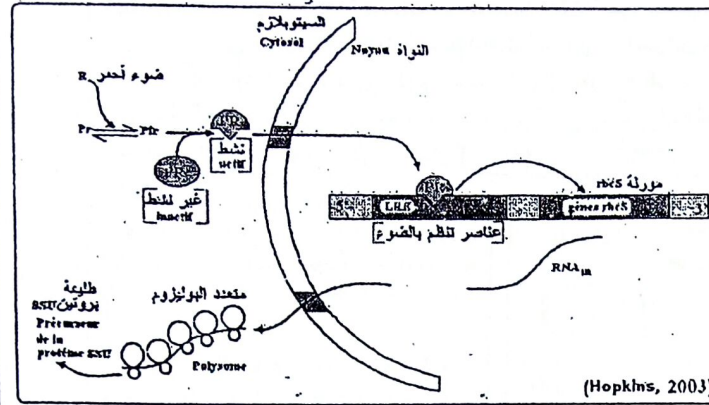


ولوحظ أن تعريض بادرات الخردل "*Sinapis navis*" النامية في الظلام إلى الضوء، يؤدي إلى زيادة تركيز هذا الإنزيم كما في الشكل (5-12)، الذي يبين حدوث ما يلي:
- عملية حث الإنزيم "induction"، المختصة بتكوين البروتينات بصورة جديدة؛
- تليها عملية تعطيل الإنزيمات "inactivation"؛
- ثم عملية كبح الإنزيم "répression"، حيث يتوقف تكوين البروتينات.

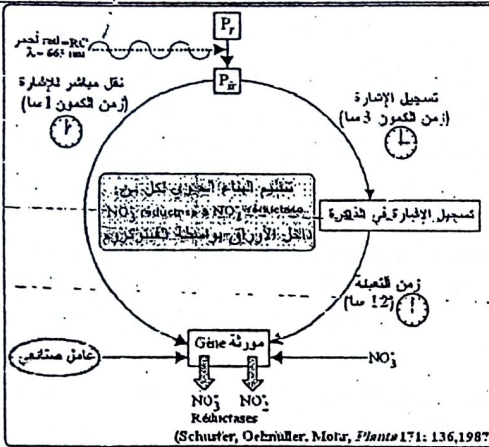
الشكل (5-12): تأثير الضوء الأحمر والأحمر البعيد والظلام على نشاط إنزيم فينيل ألانين أمونيا لياز في فلفات بادرات الخردل.

وهذا ووجد أن فعالية الإنزيم تتوقف باستعمال مثبطات تكوين البروتينات ومع ذلك فلا يوجد الدليل الكافي على أن صبغة الفيتوكروم "Pfr" تؤدي إلى زيادة عدد الجزيئات الجديدة للإنزيم، ويمكن أن تنشأ صبغة "Pfr" الجزيئات القديمة من الإنزيم، ومع ذلك يوجد اتفاق بأن صبغة الـ "Pfr" تسبب تكوين بعض الإنزيمات بصورة جديدة "de novo" مثل الإنزيم "Ascorbate oxidase". ومما هو جدير بالذكر أن بعض الإنزيمات مثل إنزيم "Lipoxygenase" (الذي يتكون في الظلام) يثبط تكوينه في الضوء (بواسطة الـ Pfr)، بينما بعض الإنزيمات الأخرى مثل "Isocitrate lyase و Catalase" لا تتأثر بالضوء.

6- الفيتوكروم وتعبير المورثات Phytochrome et expression des gènes:



الشكل (5-13): نموذج تخطيطي للتنظيم المورثي لبناء تحت الوحدات الصغيرة (rbcS) لإنزيم الريبسكو (RuBisCO) بواسطة الفيتوكروم. ينشط Pfr بروتين منتظمة (PR)، يعتبرها البعض بمثابة رسول ثانوي (*) التي تهجر إلى النواة وترتبط بعناصر تنظم بالضوء (LRE=Light regulated elements)؛ تعمل هذه العناصر على استنساخ الـ RNA-m الخاص وتنقله إلى السيتوبلازم والذي يترجم إلى طليعة تحت وحدات صغيرة (SSU) للبروتين. تنقل الـ SSU داخل الصانعة الخضراء أين يحدث لها طور النضج لترتبط مع تحت وحدات كبيرة مشكلة بذلك إنزيم الريبسكو. (*) ويرى البعض الآخر (D. Ernst & D. Oesterheldt, 1984)، أن الفيتوكروم يؤثر مباشرة في النواة دون الحاجة إلى الرسل الثانوية.



الشكل (5-14): تنظيم البناء الحيوي لكل من الـ NO-3-réductase و الـ NO-2-réductase داخل الأوراق عن طريق الفيتوكروم. إن النقل المباشر للإشارة في وجود كل المتغيرات (NO-3 و العامل الصناعي) يتم في وقت كموّن قدره ساعة. وفي غياب الـ NO-3، فإن طريق النقل المباشر للإشارة يمكن أن يلتوي. يتم تسجيل الإشارة في الذاكرة خلال فترة كموّن تصل إلى 3 ساعات. يمكن لهذه الإشارة المسجلة في الذاكرة أن تصبح فعالة بعد 12 ساعة من إرسالها، إذا كانت نافذة المفعول أي جاهزة.

إن البناء لكل من الـ NO-3-réductase و الـ NO-2-réductase يظهر جليا داخل الأوراق، مدى تأثير الفيتوكروم على تنشيط المورثات فالمورثات المشفرة لإنزيم réductases، يمكنها أن تنشط عن طريق نقل مباشر للإشارة (يسارا) أو عن طريق تسجيل الإشارة في الذاكرة (يمين)، عندما لا تتوفر كل من العامل الصناعي والـ NO-3 والتي يجب أن تتحرر.

7- الفيتوكروم وإنبات البذور:

بعض البذور (الخس مثلا: *Lactuca sativa*) لا تحتاج إلا لبرهة تعرض للضوء في حدود بعض الثواني أو بعض الدقائق الجدول (5-1)، بينما البعض الآخر يتطلب التعرض للضوء للعديد من الساعات أو قل العديد من الأيام كالساليكاريا والسنفية (*Lythrum salicaria & Epilobium*) *cephaiosttgma*. يكون في كل الحالات المستقبل للضوء الفيتوكروم. داخل التربة ينطفئ الضوء بسرعة كبيرة، فمثلا داخل تربة بسمك 1م سمح بمرور أقل من 1% من ضوء ذو طول موجة يفوق 700 نانومتر. وبالتالي وقصد إنبات أكبر عدد من البذور التي تتطلب الضوء، لذلك فعند غراسها لا يجب أن تغرس على عمق كبير من سطح التربة. من جهة أخرى بعض البذور مثل بذور الفجل البري "*Sinapis arvensis*" لا تحتاج إلا لقليل من الـ PFR، حتى يتم تحفيز إنباتها، إذ يمكنها أن تنبت إذا كانت على عمق 8 مم من سطح التربة. الجدول (5-1). التفاعلات الضوئية العكسية لمراقبة إنبات بذور الخس: بذور الخس تم نشرها لمدة 3 ساعات قبل بداية تجربة الإشعاعات. مدة الإشعاع 1د في الـ R و 3د في الـ Fr. تم حساب (%) للإنبات بعد 48 ساعة تحت الظلام وفي 20°م (عن Hopkins, 2003, p. 368).

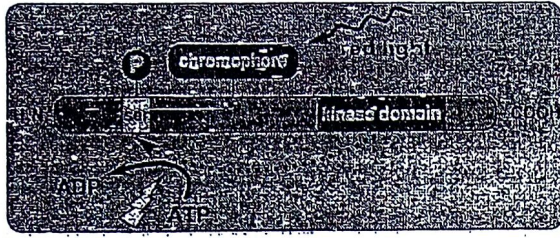
الإشعاعات Irradiations	الإنبات Germination(%)	إن تثبيط إنبات البذور "photoblastiques négatives" مثل نوع من الشوفان " <i>Avena fatua</i> " يتطلب في العادة التعريض إلى عتبات استجابة عالية. تكون الإشعاعات الزرقاء والحمراء البعيدة أكثر فعالية، إلا أنه في بعض الحالات يكون الضوء الأحمر أيضا فعالا، كما لدى بذور نبات الجمية " <i>Phacelia tanacetifolia</i> ".
R	88	
R, Fr	22	
R, Fr, R	84	
R, Fr, R, Fr	18	
R, Fr, R, Fr, R	72	
R, Fr, R, Fr, R, Fr	22	

ملاحظة:

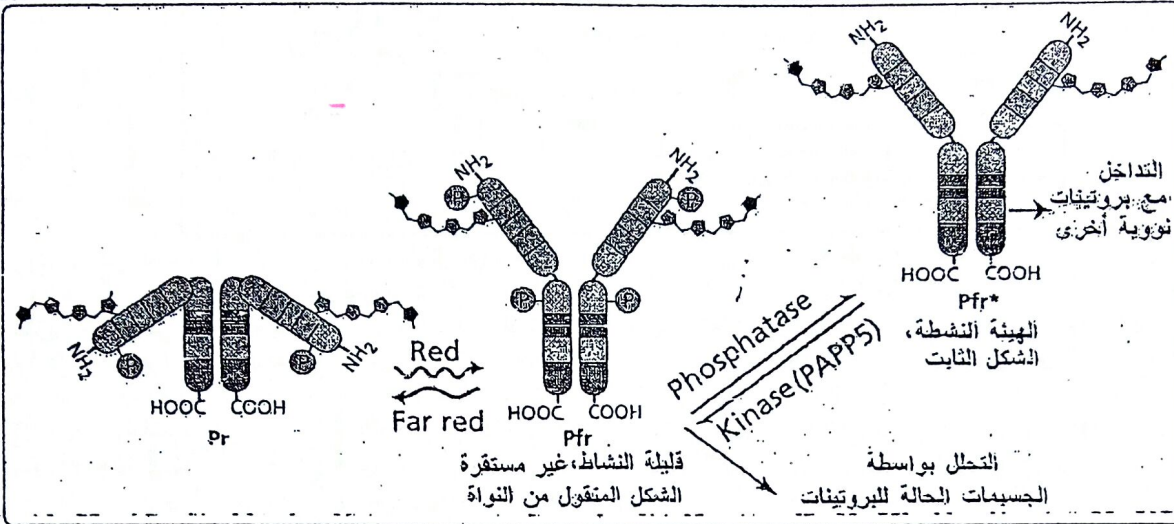
إن امتصاص الضوء الأحمر ينشط الفسفرة الذاتية لبروتين الفيتوكروم:

ويشمل بروتين الفيتوكروم على مجال الكيناز، فعند تعرضه للضوء الأحمر (أي عندما تكون حاملة الصبغة على الهيئة Pr)، يسمح للبروتين أن تفسر نفسها؛ وذلك بفسفرة بقايا سيرين تقع على الجانب N- النهائي من البروتين، يتطلب هذا التفاعل استهلاك ATP.

وبهذه الطريقة فإن التفسر الذاتي لبروتين الفيتوكروم يسبب نشاطها؛ فقد لا تنتقل إلى مكان آخر في الخلية لتنشيط بروتينات أخرى والتي تحتاج إلى أن تفسر لتصبح فعالة. هذه هي بداية الاستجابة الفيزيولوجية بواسطة الفيتوكروم، الشكلين التاليين:



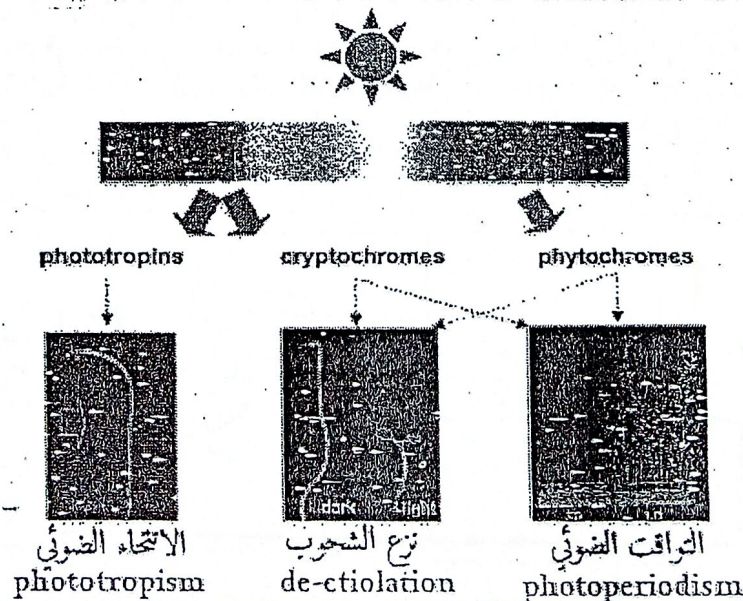
http://plantphys.info/plant_physiology/phytochrome.s.html

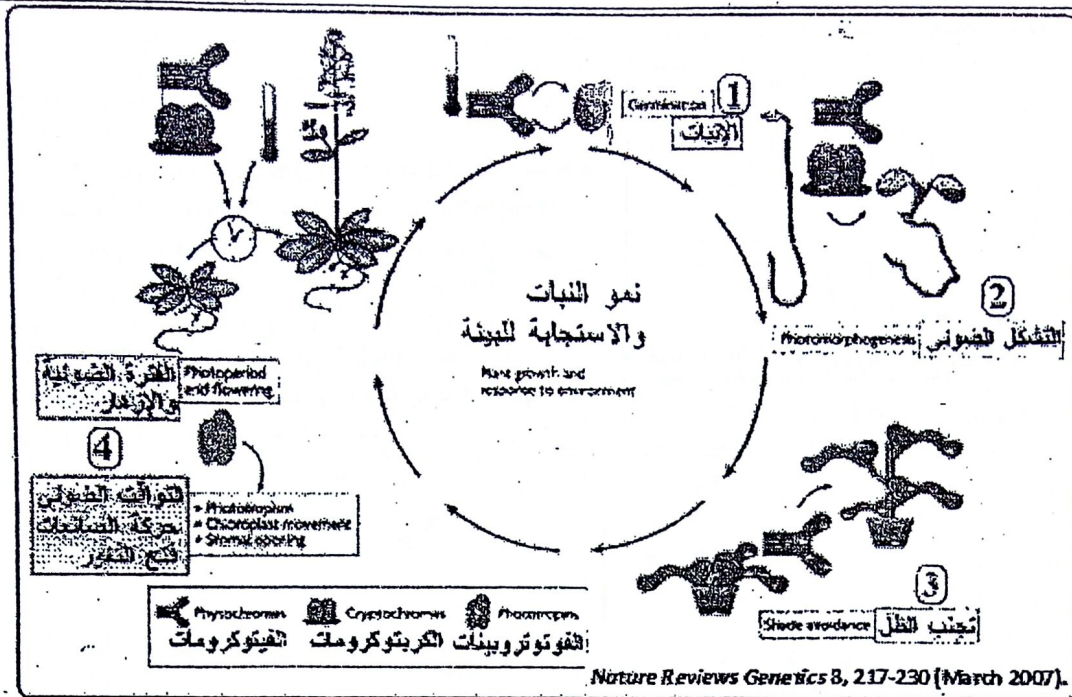


في العادة، يوجد الفيتوكروم داخل سيتوبلازم الخلايا النباتية، لكن عندما يتحول إلى الهيئة Pfr، ينتقل إلى النواة فيعدل التعبير المورثي للعديد من الجينات المسؤولة عن نمو وتشكل النبات.

الخلاصة:

- + تستقبل الإشارات الضوئية بواسطة ثلاثة فصائل من المستقبلات الضوئية (الشكل):
- الفيتوكرومات، حساسة للأشعة الحمراء والأحمر البعيد؛
- الفوتوتروبينات، حساسة للأشعة الزرقاء؛
- الكريبتوكرومات، حساسة للضوء الأزرق والأشعة فوق البنفسجية.
- + دور هذه المستقبلات الضوئية: هو تحويل المعلومات الضوئية إلى إشارة بيولوجية.
- + يجب أن نفرق بين الصبغات التي تستقبل الأشعة الضوئية كمصدر للطاقة (مثل الكلوروفيل والكاروتينات والفيكوسيانين... إلخ) وبين تلك الصبغات التي ترصد أو تتحسس الضوء كإشارة "signal".





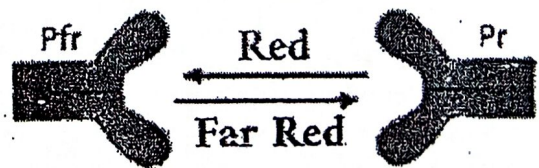
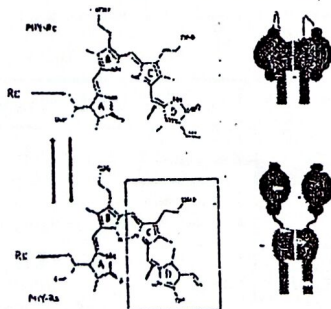
[1]- يسيطر الضوء على النمو والتطور، طوال دورة حياة النباتات. ففي الظروف البيئية السيئة، تبقى بذرة سليمة في فترة سكون ضمن الوسط الجاف. تضبط مرحلة سبات البذور لدى نبات "*Arabidopsis thaliana*"، بإشارات بيئية مثل الضوء والحرارة وتوفر العناصر المغذية ومدة تخزين البذور في الوسط الجاف. تستجيب البذور للإنبات عند تعرضها لإشعاع ضوئي أحمر، ويمكن تثبيط هذا الإنبات إذا تعرضت نفس البذور لإشعاع الضوء الأحمر البعيد. ويبدو أن الفيتوكروم (PHYB) كمستقبل ضوئي، لديه المسؤولية الكبرى في التفاعلات العكسية بين الأحمر والأحمر البعيد، لضبط ومراقبة إنبات البذور، بمساعدة كل من الفيتوكروم (PHYA) و (PHYE).

[2]- بعد الإنبات، تتبع البادرات أحد النمطين من التطور: التشكل الظلامي (Skotomorphogenesis) أو (الشحوب) في الظلام ويكون مميزا بسويقة جنينية تحت فلقية طويلة وفلقات محمية بخطاف قوي لدى "*A. thaliana*"، وتطور طلائع الصائعات. تحول صائعات شاحبة (etioplasts)، ويالمقابل النمو في الضوء يمنع تشكلا ضونيا (photomorphogenesis) مميّزا بسويقة جنينية تحت فلقية قصيرة، فلقات واسعة مفتوحة وتطور طلائع الصائعات إلى صائعات خضراء قادرة على القيام بالبناء الضوئي. ففي مجال ضوئي واسع، بالخصوص الأحمر البعيد والأحمر والأزرق والأشعة فوق البنفسجية (UV) ضمن شروط الإضاءة، يحدث تحول على التشكل الضوئي للنبات. يُعد الـ (PHYA) المستقبل الضوئي الأولي لدى (*A. thaliana*)، تحت الضوء الأحمر البعيد، بينما الـ (PHYB) له الدور الأكبر تحت الضوء الأبيض أو الأحمر، بمساعدة كل من الـ (PHYA) و الـ (PHYC) و الـ (PHYD). أما لدى نبات الرز (*Oryza sativa*)، فإن كل من الـ (PHYA) و الـ (PHYB)، يُساهمان في التشكل الضوئي للبادرات تحت الضوء الأحمر، بينما تحت الضوء الأحمر البعيد، نجد مساهمة كل من الـ (PHYA) و الـ (PHYC) للاستجابات الضوئية. أضف إلى ذلك فإن كل من الكريبتوكروم (CRY1) و (CRY2) يكونان مسؤولان عن التشكل الضوئي للنباتات، تحت الضوء الأزرق وفوق البنفسجي.

[3]- عندما تنمو النباتات بالقرب من بعضها، يحدث هناك تنافس على الإضاءة. طورت النباتات الراقية قدرة عالية لتجنب الظل. إن وجود غطاء نباتي يساهم في خفض نسبة الضوء الأحمر إلى الضوء الأحمر البعيد. إن التغيرات المحدثة في الضوء الأحمر ونسبة الضوء الأحمر البعيد، يكشف عنها كتغير في القيم المتطرفة بأشكال كل من الـ (Pr) و الـ (Pfr) للفيتوكروم و الـ (PHYB) الذي يعزى إليه الدور المعنوي. إن تحسس الفترة الضوئية (أو طول النهار) يكون حاسما للنباتات، لضبط نموها وإدماجها ضمن التغيرات الفصلية السنوية. إن التداخلات بين الإشارات الضوئية وإيقاعات الساعة البيولوجية تقيس التغيرات الجوهرية لطول النهار. فلدى نبات (*A. thaliana*)، هناك اثنان من الفيتوكرومات والكريبتوكرومات، تساهمان في ضبط إيقاعات الساعة البيولوجية. يُعد تحسس طول النهار مؤشرا مهما، في مراقبة الإزهار.

[4]- العديد من الآليات انعابرة للنمو، بما فيها التوافق الضوئي وحركة الصائعات الخضراء وفتح الثغور، تكون جميعها تحت السيطرة في المقام الأول من خلال الضوء والفيتوتروبيينات (phototropines). إن العرض السريع لآليات الاستجابات الضوئية، والتي لم ننتقِ فيها إلى التنظيم الاستنساخي واسع النطاق، ويتم لهذا الغرض بعيدا عن نطاق هذا الاستعراض.

7- بعض النماذج التخطيطية لتشخيص الهيئة غير النشطة (Pr) والهيئة النشطة (Pfr) لعمل الفيتوكروم، مع العلم أنه توجد العشرات منها:



الفصل الخامس: الإزهار Floraison

مقدمة:

تمثل النباتات الزهرية معظم الأنواع النباتية و المزروعة (أكثر من 260000 نوع)، ولقد ظهرت منذ الجوراسي الأعلى Jurasique supérieur من حوالي 150 مليون سنة مضت. يعود الفضل في نجاح تطوّر هذه المجموعة النباتية و بقاءها إلى احتوائها على الأزهار.

إنّ حدوث الإزهار عند النباتات يعني الانتقال من الحالة الخضرية (جذور، سيقان، أوراق) إلى الحالة التكاثرية التي تقود إلى تكوين البذور التي تضمن البقاء و انتشار النوع. إذن فالإزهار هو الذي يحدّد مدّة المرحلة الخضرية Phase vegetative و المرحلة التكاثرية Phase reproductive في دورة حياة النبات.

توجد عدّة آليات مسؤولة عن مراقبة الإزهار وهي مرتبطة بوجود محفز خارجي أو داخلي. يتعلق المحفز الخارجي بالموقع الجغرافي (الفصول و المناخ: الحرارة و الضوء) بينما المحفز الداخلي فيكون مرتبط بحالة النبات (عمر و حجم النبات). هذه الآليات تكون مشتركة عند جميع أفراد النوع الواحد لذا نجد أنّه في نفس النوع، كلّ النباتات تزهر في نفس الوقت (وهو ضروري في حالة الإخصاب المتصالب Fécondation croisée).

1- مراحل الإزهار Etapes de la floraison:

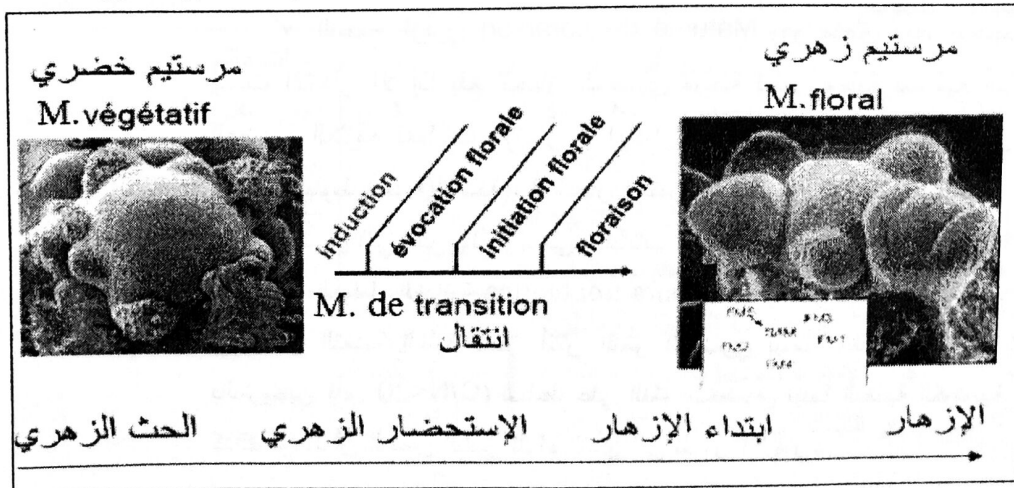
1- الحث الزهري Induction florale: هي مرحلة التحسّس للمحفزات الداخلية والخارجية حيث تقوم بعض أعضاء النبات مثل الأوراق بإرسال إشارة الإزهار Signal de floraison إلى المرستيم. هذه المرحلة تستغرق من يوم واحد إلى عدّة أشهر.

2- الإستحضار الزهري Evocation florale: هي مرحلة إعادة تنظيم المرستيم الخضري إلى مرستيم زهري (تكاثري) وهي تتضمن إعادة تنظيم لهندسة القمة و تحفيز تمايز البدائات الزهرية. في هذه المرحلة يزداد حجم المرستيم ويستدير، ويحدث ارتفاع للنشاط الإنقسامي في الطبقات المكوّنة للقميص بينما تتوقف انقسامات المرستيم النخاعي.

3- ابتداء الإزهار Initiation florale: هي مرحلة تمايز البدائات الزهرية إلى قطع زهرية (تبدلات مرفولوجية التي تعطي شيئاً فشيئاً مظهر المرستيم الزهري).

4- الإزهار Floraison: هي مرحلة تطور القطع الزهرية (السبلات، البتلات، المبايض، الأسدية، الأمشاج) و تفتح الزهرة.

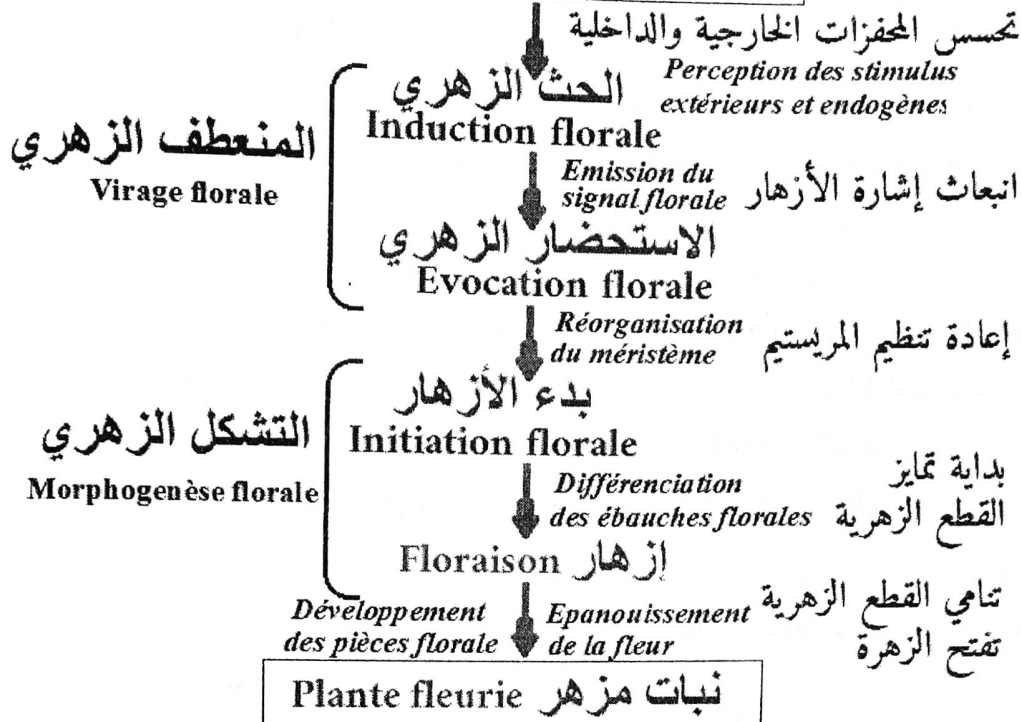
إنّ تحوّل المرستيم الخضري إلى مرستيم زهري هو تحوّل غير عكسي Irréversible، و إذا حدث في وقت غير مناسب فهذا يعكس مباشرة على نوعية البذور الناتجة. يمكن التعبير عن مرحلة التحول بالشكلين التاليين:



الشكل 1: المراحل المختلفة للانتقال من المرحلة الخضرية إلى المرحلة التكاثرية

مختلف مراحل الانتقال إلى الحالة
التكاثرية لدى مغطاة البذور
Les différentes étapes du passage
à l'état reproducteur chez une angiosperme

نبات خضري Plante végétative



الشكل 1 مكرر: المراحل المختلفة للانتقال من المرحلة الخضريّة إلى المرحلة التكاثرية

2- فزيولوجية الحث الزهري : Physiologie de l'induction florale

- ما هو المسبب الحقيقي للإزهار عند النبات؟

لحدّ الآن لا توجد إجابة كاملة عن هذا التساؤل إلا أننا نعرف الكثير عن الميكانيزمات التي تسبّب هذه الظاهرة الفزيولوجية. أصبحنا نعلم الآن أنّه لا يوجد محفّز واحد للإزهار و إنّما مجموعة من المحفّزات التي تطلق سلسلة معقّدة من الاستجابات الفزيولوجية والجينية و التي في النهاية تحفّز التغيّرات في الخصائص المرفولوجية للبراعم القميّة. يمكن القول على أنّ هناك مستويان من تنظيم الحث الزهري:

أ- المستوى الأول: مراقبة داخلية Contrôle interne، يندرج ضمنها ثلاث عوامل:

✓ النضج الزهري Maturité de floraison وهو متعلّق بعمر وحجم النبات: عند بعض الأنواع النباتية لا يحدث الإزهار إلا إذا بلغ الجهاز الخضري مرحلة تطوّر معيّنة يستطيع أثناءها تركيب كلّ ما يحتاجه من المواد العضوية اللازمة لعمليات الإزهار و الإثمار، فمثلاً: الطماطم (يجب انتظار ظهور 13 عقدة سلمية)، القمح (7 أوراق)، البلوط (بعد 40 سنة)، الأشجار المثمرة (من خمسة إلى سبع سنوات). قد يحدث الإزهار عند أنواع أخرى على جهاز خضري فتي غير بالغ وتسمى بالنباتات النيوتينية Plantes néoténiques مثل نبات Bidens.

✓ العوامل الغذائية Facteurs trophiques: وتشمل العناصر المعدنية، الماء و كذا النسبة كربون/أزوت. لقد لوحظ أنّ التغذية الغنيّة تحفّز أكثر النّمّو الخضري بينما التغذية الضعيفة تحفّز الإزهار، كما أنّ التغذية الغنيّة بالنيتروجين (أي $C/N < 20$) تساعد على النّمّو الخضري بينما التغذية الكربونية (أي $C/N > 20$) تشجّع على الإزهار. كذلك لوحظ أنّ النقص الكبير للماء يؤدي إلى ظهور الأزهار.

✓ الهرمونات Hormones: وتضم الجبرلين الذي يمثل أكثر الهرمونات مساهمة في مراقبة الإزهار، السيتوكينين له تأثير محفز للإزهار في التراكيز الضعيفة، الإيثيلين يمكنه تحفيز أو تثبيط الإزهار حسب الأنواع النباتية، بينما الأوكسين وحمض الأبسيسيك فهما مثبطان لعملية الإزهار.

ب- المستوى الثاني: مراقبة خارجية Contrôle externe: العوامل الأكثر أهمية هي:

✓ المعالجة بالبرودة: الارتباع Vernalisation

✓ التعرض للحرارة: التوافق الحراري Thermopériodisme

✓ التعرض للضوء: التوافق الضوئي Photopériodisme

يعطي الجدول التالي بعض الأمثلة عن أهمية تداخل بعض العوامل في تحفيز الإزهار عند بعض الأنواع النباتية.

الجدول 1: التأثير المتداخل لكل من التوازن الغذائي، الارتباع و التوافق الضوئي لدى بعض النباتات.

النباتات	التوازن الغذائي	الارتباع	التوافق الضوئي
حشيشة القزاز <i>Stellaria media</i>	+	-	-
نباتات حولية <i>Plantes annuelles</i>	+	-	+
نبات البنج <i>Jusquame</i> ، قمح الشتاء <i>Blé d'hiver</i>	+	+	+
نبات <i>Geum, Benoîte</i>	+	+	-

2-1- الارتباع Vernalisation:

تؤثر التغيرات الحرارية الفصلية و اليومية بشكل مباشر على النمو الخضري، وفي الشتاء تلعب درجات الحرارة المنخفضة دورا محفزا نوعيا على عملية الإزهار. بعض الأنواع النباتية لا تزهر إلا بعد تعرضها للبرودة حتى ولو كانت مرستيمها القمي الساقى MAC متطور جدًا. تسمى هذه الظاهرة بالارتباع.

ملاحظة: الارتباع لا يمثل رفع السبات، بعض النباتات لا تحتاج إلى الارتباع حتى تزهر.

3-1-1- أصناف النباتات التي تحتاج إلى الارتباع:

هناك 3 أصناف من النباتات تحتاج إلى الارتباع حتى تزهر: النباتات ثنائية الحول، النباتات الحولية الشتوية و النباتات المعمرة .

النباتات الحولية الشتوية	النباتات ثنائية الحول	النباتات المعمرة
-الزرع في الخريف -يمر على الشتاء في حالة بذور متشربة أو بادرات فتية. -إزهار سريع في الربيع -الإزهار يكون متأخر جدًا بدون ارتباع.	-الزرع في الربيع -يمر على الشتاء في شكل باقة <i>rosette</i> -الإزهار في الربيع الثاني -لا إزهار بدون ارتباع	-نبات دائم -يمر على الشتاء في شكل خضري (باقة، ساق، بصلة..) -الإزهار في الربيع -لا إزهار بدون ارتباع

تتميز النباتات ثنائية الحول و النباتات المعمرة بمرحلتين:

- المرحلة الفتية: يكون الارتباع مستحيل.

- مرحلة النضج: يزهر النبات مباشرة بعد الارتباع.

إذن يجب على النباتات أن تبلغ مرحلة معينة من النمو حتى تتمكن من تقبل المعاملة بالارتباط وهي تختلف حسب الأنواع النباتية.

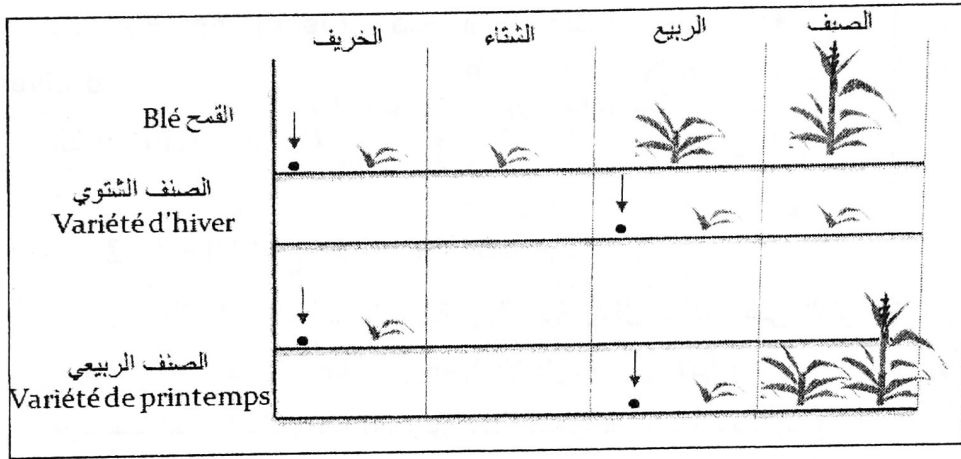
ملاحظة: النباتات الحولية الصيفية و الربيعية أو المعمرة التي تشكل بداءات زهرية قبل الشتاء لا تحتاج إلى ارتباط. إن معرفة الارتباط له فائدة كبيرة في ميدان الفلاحة فهي تسمح بتحديد المنطقة الجغرافية للمزروعات.

أ- حالة النجيليات **Céréales**:

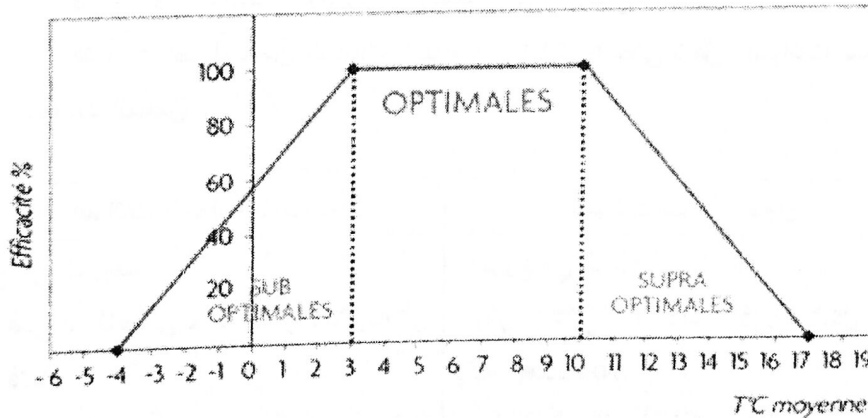
تضم النجيليات صنفين:

✓ **صنف شتوي** *variété d'hiver* وهو الغالب، يزرع في بداية الخريف. تحتاج الأصناف الشتوية إلى الارتباط وهذا يعني أن انتقالها من الحالة الخضرية إلى الحالة الزهرية يتطلب تعرضها لدرجات حرارة منخفضة بشكل كاف خلال مرحلتها الفتية، وهي تتراوح بين 3 إلى 10°م لمدة 40 إلى 60 يوم عند نبات القمح *Blé tendre*، و بين 0 إلى 7°م لمدة 40 إلى 60 يوم عند نبات *Colza*. و لهذا إذا زرعت هذه الأصناف في الربيع فغالبا ما تبقى في حالتها الخضرية ولا تنتج السنابل.

✓ **صنف ربيعي** *variété de printemps* يزرع في بداية الربيع، وهو لا يحتاج إلى الارتباط حتى يزهر.



الشكل 2: إحتياج الصنف الشتوي للقمح اللين إلى الارتباط



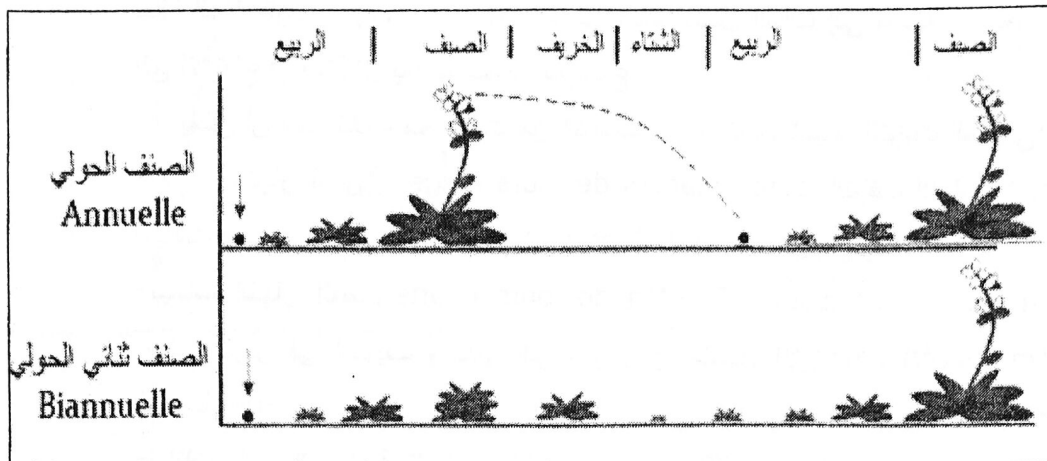
الشكل 3: فعالية درجات الحرارة المتوسطة اليومية على ارتباط الحبوب

ب- حالة نبات البنج (*Jusquiamme noire* (*Hyoscyamus niger*))

يضم هذا النوع صنفين:

- **صنف حولي** *Annuelle* تنبت البذور في الربيع ويتطور جهازه الخضري و يزهر في الصيف ويمر على الشتاء في حالة بذور. إذن فهذا الصنف لا يحتاج إلى الارتباط.

صنف ثنائي الحول Bisanuelle تنبت البذور في الربيع ويتطوّر جهازه الخضري ولكنه لا يزهر، يمرّ النبات على الشتاء في حالة باقية يتعرّض أثناءها إلى درجات الحرارة المنخفضة ثم يتطوّر من جديد في الربيع و يزهر بحلول الصيف. إذن فهذا الصنف يحتاج إلى الإرتباع.



الشكل 4: إحتياج الصنف ثنائي الحول لنبات البنج إلى الإرتباع

2-1-2- خصائص الإرتباع Propriétés de la vernalisation:

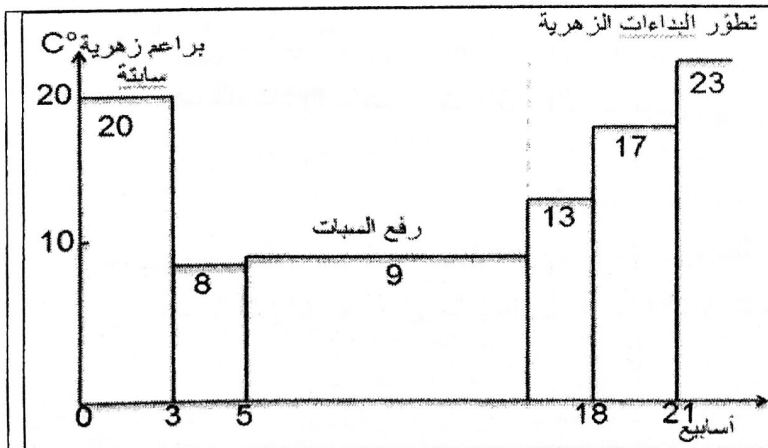
- تختلف المعاملة بالإرتباع من نبات لآخر فالمدة تتراوح بين يوم واحد إلى عدة أشهر، ودرجة الحرارة من 1 إلى 15°م.
- يجب أن تكون المعاملة بالإرتباع كاملة حتى تؤدي دورها لأن الإرتباع له تأثير تجمعي Effet cumulatif فأي ارتفاع لدرجة الحرارة في فترة المعاملة يؤدي إلى فقد الإرتباع Dévernalisation.
- يمكن نقل حالة الإرتباع عن طريق التطعيم من نبات أ (مرتبع) إلى نبات ب (غير مرتبع) فيؤدي ذلك إلى إزهار النبات ب. إذن هناك إشارة تنتقل من النبات أ إلى النبات ب.
- يمكن تعويض عملية الإرتباع لدى بعض النباتات بمعاملتها بحمض الجبريليك GA.

2-1-3- تنظيم الإرتباع Régulation de la vernalisation:

حديثاً، أظهرت بعض الأبحاث التي أجريت حول كثافة التعبير لمورثة (FLC) FLOWERING LOCUS (هي تعمل كمثبطة للإزهار) عند نباتات *Arabidopsis thaliana* أن المعاملة بالإرتباع يثبط تعبير هذه المورثة ممّا يسمح بالإزهار. لقد وجد أنّ البرودة تحثّ على تركيب بروتينات VIN3، VRN1 و VRN2 التي تكبح بدورها تعبير المورثة FLC.

2-2- التوافق الحراري Termoperiodisme:

إنّ إزهار بعض الأنواع النباتية لا يحتاج إلى الإرتباع وإنما يتعلّق بالتوافق الحراري وهي حالة الأشجار المثمرة و النباتات المنتجة للبصلات plantes à bulbes.



الشكل 5: إحداث الإزهار عند نبات التوليب Tulipe بواسطة التوافق الحراري

2-3- التوافق الضوئي Photoperiodisme:

التوافق الضوئي عند النباتات يعني تأثير الفترة النسبية للنهار على بعض الظواهر الفيزيولوجية مثل الحث الزهري، تشكّل البصلات و الدرنات، سبات البراعم، إنبات البذور الحساسة للضوء، تساقط الأوراق، تطاول السلميَّات... إلخ. في حالة الحث الزهري، يتدخل التوافق الضوئي عندما يصل النبات إلى مرحلة النضج الزهري، و إذا كانت النباتات محتاجة إلى الإرتباع فإنه يتدخل بعد خضوعها للإرتباع.

يمكن أن نميّز ثلاث مجموعات من النباتات من حيث حساسيتها للتوافق الضوئي:

-نباتات النهار الطويل *Plantes de jours longs* = نباتات التوافق النهاري *plantes héméropériodique*. هذه النباتات تزهر في الصيف ومن أمثلتها: *Arabidopsis*، القرنفل، البازلاء.

-نباتات النهار القصير *Plantes de jours courts* = نباتات التوافق الليلي *Plantes nyctipériodique*. هذه النباتات تزهر في الخريف و بداية الربيع و ومن أمثلتها: الأرز *riz*، الأقحوان *chrysanthème*، القهوة *caféier* و الصوجا *soja*.

-نباتات غير الحساسة للتوافق الضوئي *Plantes indifférentes*. هذه النباتات تزهر في أي وقت. من أمثلتها: البطاطا، الطماطم والخيار.

ملاحظة: توجد مجموعة نباتية أخرى لا تحتاج للضوء حتى تزهر تسمى بالنباتات الكارهة للإضاءة (*aphotiques*)، من أمثلتها: نبات الياقوتية *Jacinthe* ونبات التوليب *Tulipe*.

تختلف عدد دورات التوافق الضوئي اللازمة للحث الزهري حسب النباتات، نذكر فيما يلي بعض الأمثلة:

-نبات الحسك *Xanthium* وهي من نباتات النهار القصير، دورة واحدة (وضع النبات مرة واحدة في ظروف النهار القصير) تكفي لحدوث الإزهار.

-فول الصويا *Soja hispida* وهي من نباتات النهار القصير، تحتاج من 2 إلى 4 دورات.

-نبات البنج *Jusquame noire* وهي من نباتات النهار الطويل، تكفيها دورة واحدة.

2-3-1- الفترة الضوئية الحرجة *photopériode critique (PC)*:

يتطلّب النبات لبقاءه كمية كافية من الضوء حتى يتمكّن من تركيب المواد العضوية التي يحتاجها. تمثل *T* (*minimum trophique*) القيمة الدنيا للضوء التي يحدث عندها توازن تركيب/استهلاك وهي تقدّر بـ 4 إلى 5 ساعات.

لكل نوع نباتي فترة ضوئية حرجة *photopériode critique (PC)* خاصة به، حيث نجد أن:

- نباتات النهار القصير لا تزهر إلا إذا كانت فترة الإضاءة المعرض لها > الفترة الضوئية الحرجة.

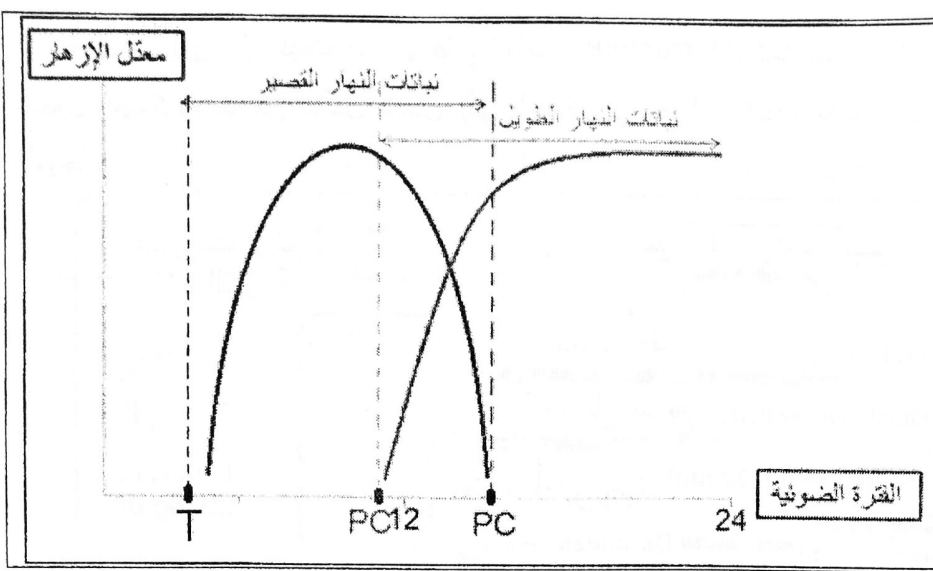
مثلا: قيمة *PC* عند نبات *Xanthium* (من نباتات النهار القصير) هي أقل من 15 ساعة، إذن تعريض هذا النبات

لتوافق ضوئي مدته 14,5 ساعة يؤدي إلى الإزهار.

- نباتات النهار الطويل لا تزهر إلا إذا كانت فترة الإضاءة المعرض لها < الفترة الضوئية الحرجة.

مثلا: قيمة *PC* عند نبات *Jusquame noire* (من نباتات النهار الطويل) هي أكثر من 10 ساعات، إذن تعريض

هذا النبات لتوافق ضوئي مدته 11,5 ساعة يؤدي إلى الإزهار.



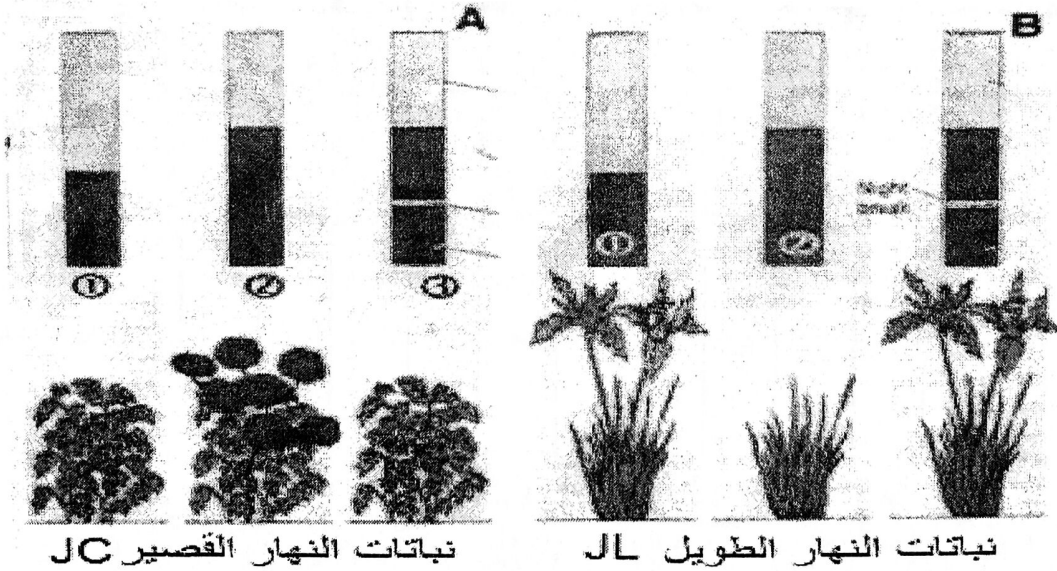
الشكل 6: الفترة الضوئية الحرجة
لنباتات النهار الطويل ونباتات
النهار القصير.

2-1-2- الإستجابات الزهرية لنباتات النهار الطويل والقصير للتفاوت الضوئي

Réponses florales de plantes JL et JC à différentes photopériodes

تملك النباتات الخاضعة للتفاوت الضوئي نظاما خاصا لتحسس الوقت (فترات الليل و النهار) يمكن تشبيهه بالمؤقت Chronomètre. لكن ماذا يقيس هذا المؤقت؟ للإجابة على هذا السؤال قام الباحثون بزراعة نباتات النهار الطويل و نباتات النهار القصير في ظروف إضاءة متغيرة، و كانت النتائج كالتالي:

- ✓ في ظروف النهار الطويل —————> تزهر فقط نباتات النهار الطويل
- ✓ في ظروف النهار القصير —————> تزهر فقط نباتات النهار القصير
- ✓ في ظروف النهار القصير مع قطع فترة الليل بوميض ضوئي —————> يحدث تثبيط لتأثير ظروف النهار القصير —————> لا تزهر نباتات النهار القصير بينما تزهر نباتات النهار الطويل.

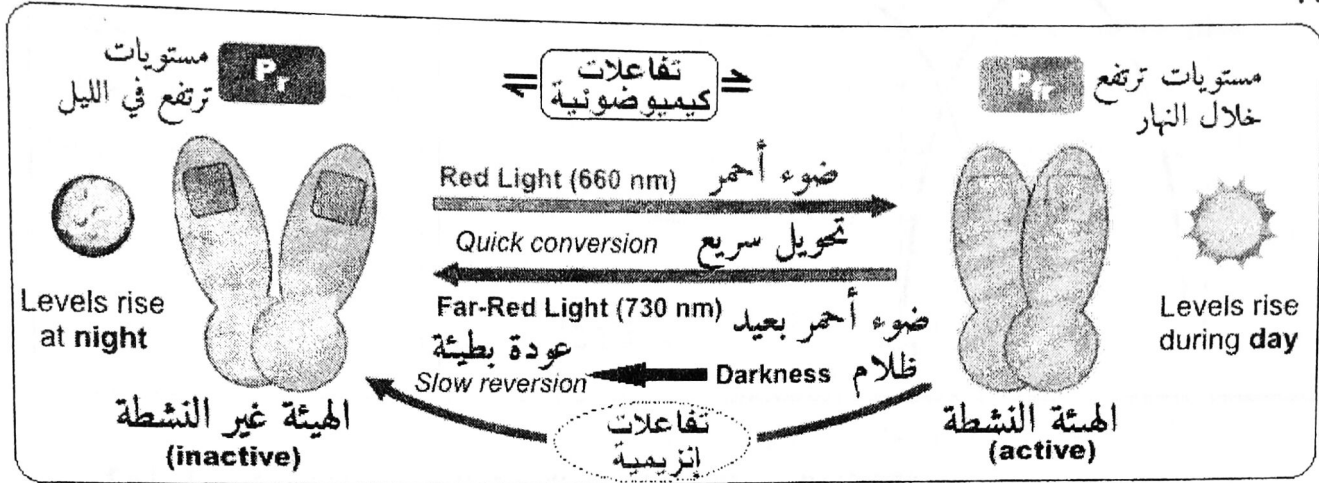


الشكل 7: تأثير فترة الإضاءة على إزهار نباتات النهار الطويل و نباتات النهار القصير

تشير هذه النتائج بوضوح أنّ مؤقت النباتات يقيس فترة الليل و ليس فترة النهار.
ملاحظة: كان من المفترض تسمية نباتات النهار القصير بنباتات الليل الطويل و تسمية نباتات النهار الطويل بنباتات الليل القصير إلا أنّ العلماء يستمرون في تقسيم النباتات استنادا إلى طول الفترة الضوئية وهذا نظرا لصعوبة تجاوز هذه التسميات التاريخية.

والسؤال المطروح الآن من هو المسؤول عن مراقبة حساسية النبات للضوء؟

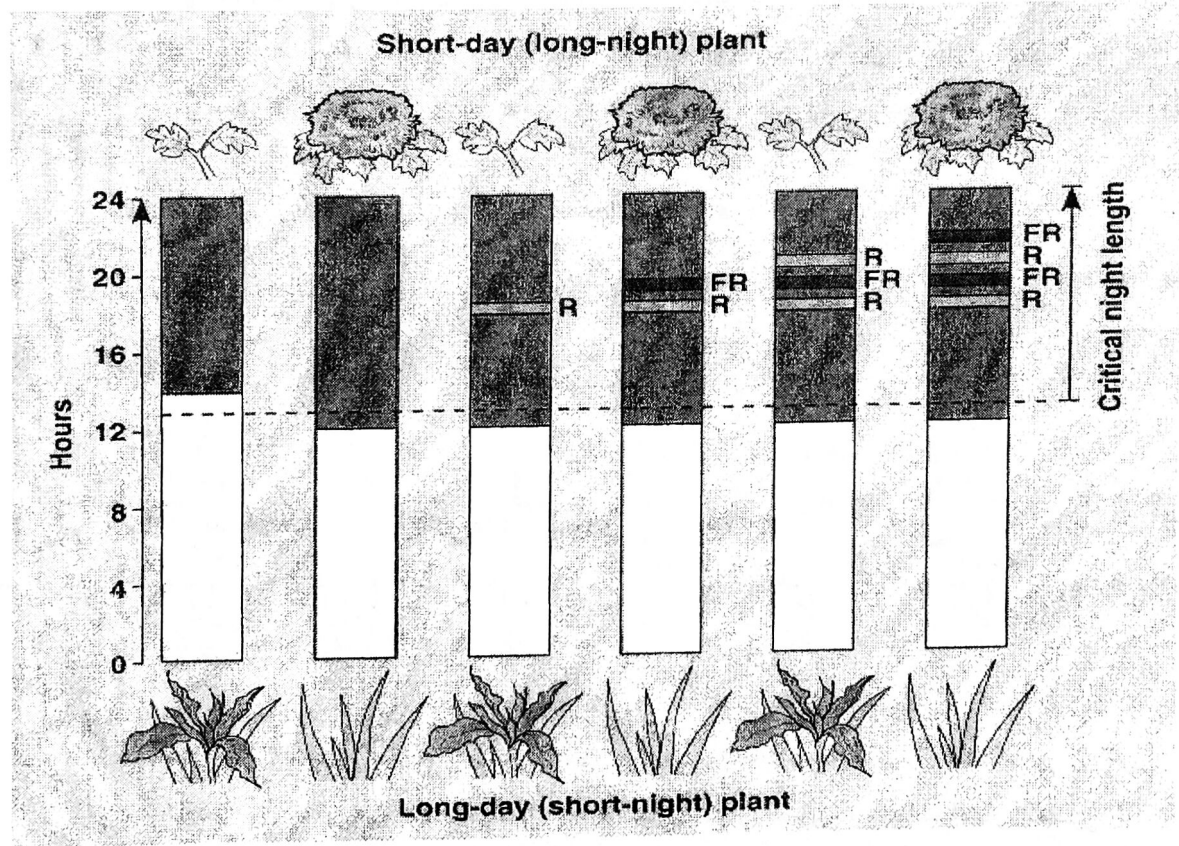
وجد الباحثون أن النبات يحتوي على قاطعة Interrupteur تستجيب لطول الموجة الضوئية. إنها الفيتوكرومات. تتحول الفيتوكرومات من الشكل الفعّال (أي الحالة التي تحدث استجابة بيولوجية) إلى الشكل غير الفعّال حسب طول الموجة.



الشكل 8: التحوّل الضوئي للفيتوكروم

لكن كيف يتدخل الفيتوكروم في تحفيز أو تثبيط الإزهار؟

لمعرفة الجواب، تمّت زراعة نباتات النهار القصير (Xanthium) و نباتات النهار الطويل (Jusquiame) في ظروف النهار القصير (إزهارها يحتاج إلى دورة واحدة من التواقت الضوئي) مع قطع الليل بوميض ضوئي ذو أطوال موجية مختلفة (الأحمر البعيد FR = 730 نانومتر و الأحمر R = 660 نانومتر). نتائج التجربة موضحة في الشكل التالي:



Copyright © Pearson Education, Inc., publishing as Benjamin Cummings.

الشكل 9: مراقبة الإزهار بالضوء الأحمر (R) و الضوء الأحمر البعيد (FR)

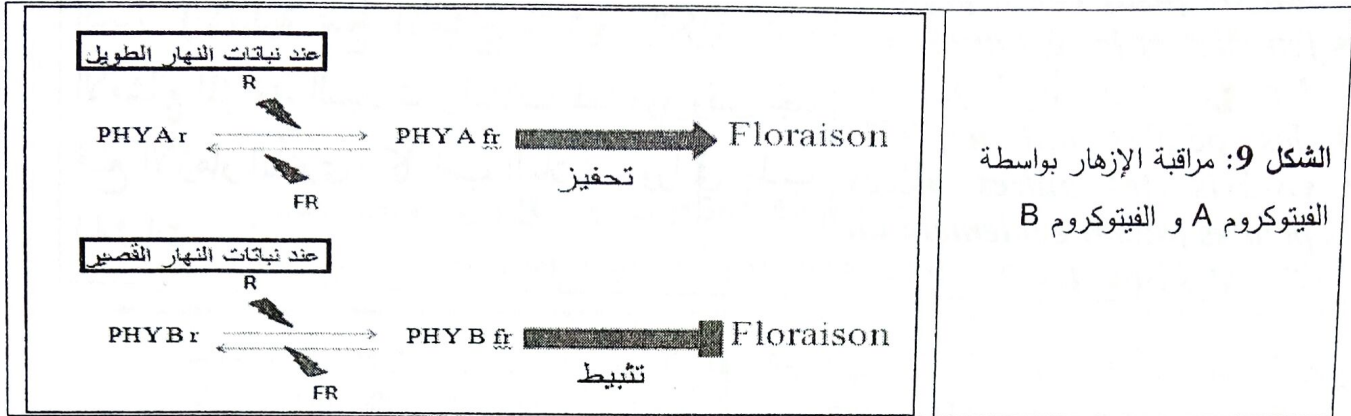
نستخرج من نتائج التجربة الملاحظات التالية:

- النباتات تتحسّس للضوء الأحمر بواسطة الفيتوكرومات.

- يوجد تأثير معاكس effet antagoniste للومضات الضوئية للأحمر (660 nm) و الأحمر البعيد (730 nm) على إزهار نباتات النهار الطويل و نباتات النهار القصير.
- مهما كان عدد الومضات الضوئية، فقط طول الموجة الضوئية الأخيرة هي من يؤثر على تحسّس النبات.

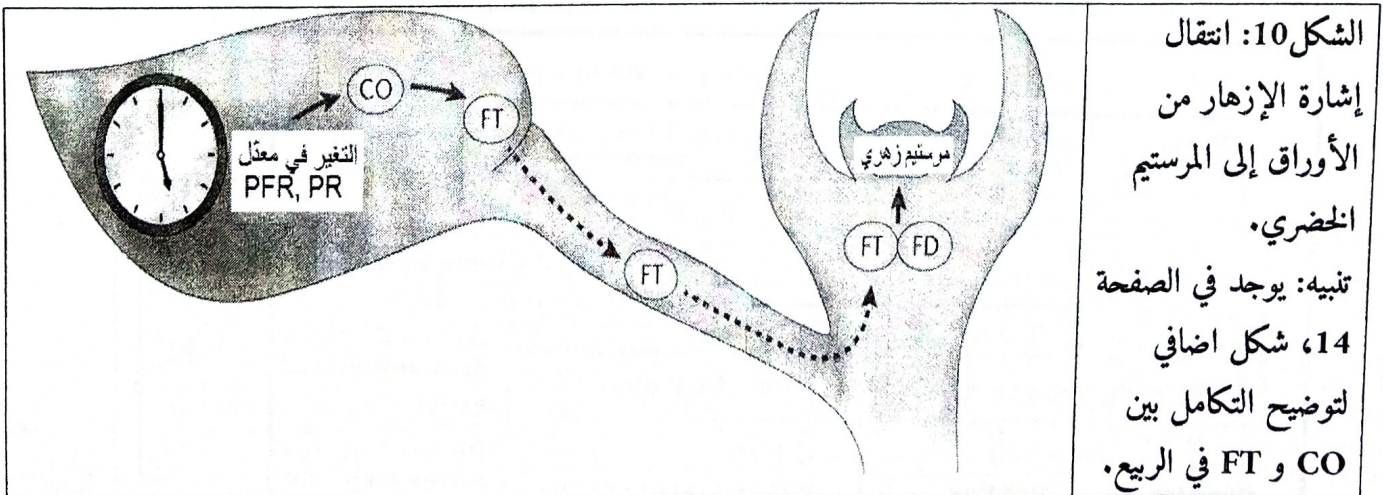
أظهرت الدراسات أنّ الفيتوكروم يضم أنواعا عديدة منها الفيتوكروم A و الفيتوكروم B اللذان يتدخلان في إحداث ظاهرة الإزهار عند نباتات النهار القصير و نباتات النهار الطويل. يوضح المخطط التالي آلية عملهما.

- في حالة نباتات النهار الطويل. يتدخل الفيتوكروم PHY A حيث يعمل PHYA fr كمنشط للإزهار.
- في حالة نباتات النهار القصير. يتدخل الفيتوكروم PHY B حيث يعمل PHYB fr كمنشط للإزهار.



3- إشارة الإزهار : Florigène : Signal de floraison :

أظهرت تجارب التطعيم أنّ **الأوراق تنتج إشارات تنتشر في النبات إلى غاية وصولها إلى المرستيم مسببة تحوّلها إلى مرستيم زهري**، وأنّ هذه الإشارة يمكن نقلها من نبات لآخر و من نوع لآخر. أعطيت لهذه الإشارة تسمية الفلورجين Florigène. بقيت ماهية هذه الإشارة غير معروفة بدقّة إلى غاية 2007 حيث تمّ الكشف عنها بشكل جزئي. لقد وجد أنّ كمية ARNm للبروتين (CO) Constant في خلايا الأوراق تتزايد بإيقاع منتظم (متأثرا بمدة النهار). عندما يصل إنتاج هذا البروتين إلى مستوى معيّن يحدث تنشيط لمورثة FT التي تشفر للبروتين FT. يمرّ هذا البروتين من قنوات صغيرة موجودة في الجدار الخلوي للأنابيب الغربالية للحاء، فينتقل هذا البروتين مع اللحاء إلى غاية وصوله إلى الخلايا المرستيمية القمية. هنا يرتبط مع بروتينات أخرى تسمى FD. ينشّط هذا المعقد البروتيني سلسلة من المورثات المسؤولة عن نشأة البرعم الزهري و بذلك يحدث الإزهار. يبقى هذا التفسير جزئيا والأبحاث لاتزال إلى حدّ الساعة متواصلة للكشف عن المزيد.



النموذج [ABC] لنبات *Arabidopsis thaliana*

Problème : en quoi la reproduction des plantes à fleurs est-elle adaptée à leur vie fixée ?

Rappel : Une fleur est classiquement composée de 4 verticilles : de l'extérieur vers l'intérieur, sépales, pétales, étamines et pistil. Seuls les étamines et le pistil interviennent directement dans la reproduction (le pistil car il produit les gamètes femelles et les étamines qui produisent les gamètes mâles). Les sépales et les pétales ont un rôle protecteur vis-à-vis des autres pièces florales, les pétales jouant également un rôle d'attraction des insectes.

المشكلة: كيف يتكيف تكاثر النباتات الزهرية مع حياتها الثابتة؟

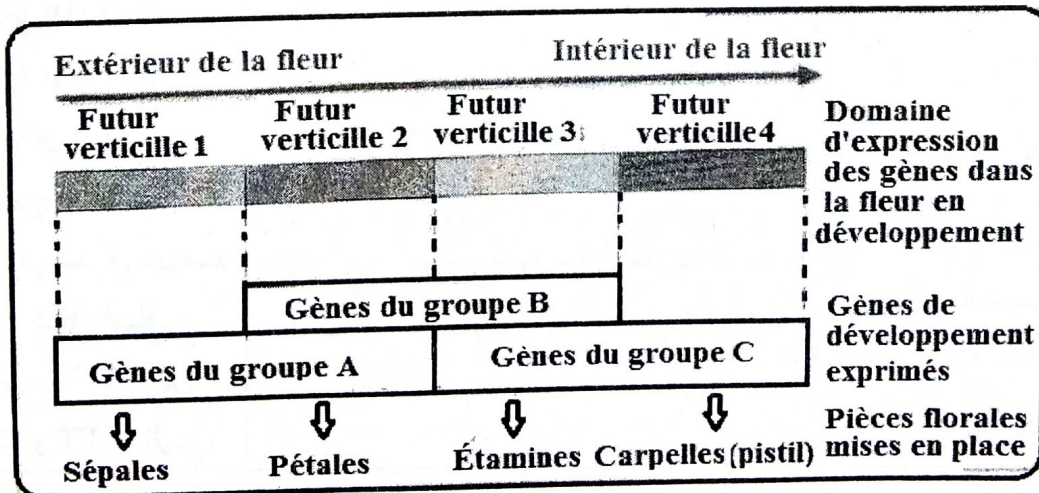
تذكير: تتكون الزهرة الكلاسيكية من 4 محيطات: من الخارج نحو الداخل، السبلات والبتلات والأسدية والكرابل. فقط الأسدية والكرابل تتدخلان مباشرة في التكاثر (الأسدية تنتج الأمشاج الذكرية والكرابل تنتج الأمشاج المؤنثة). السبلات والبتلات لهما دور وقائي تجاه قطع الأزهار الأخرى، كما تلعب البتلات دوراً في جذب الحشرات.

نبات *Arabidopsis thaliana*، مورثات الإزهار والأزهار المطفرة والمحيطات الزهرية.
Arabidopsis thaliana, gènes de la floraison fleurs mutantes et diagrammes floraux

لقد توصل الباحثون إلى عزل العديد من الطفرات لنبات *Arabidopsis thaliana*، حيث تم تحويل عمل تنظيم المحيطات الزهرية. المورثات المطفرة عبارة عن مورثات النمو. هذه المورثات يمكن تقسيمها إلى ثلاثة مجموعات تتعلق بثلاث أنماط ظاهرية للأزهار المطفرة:

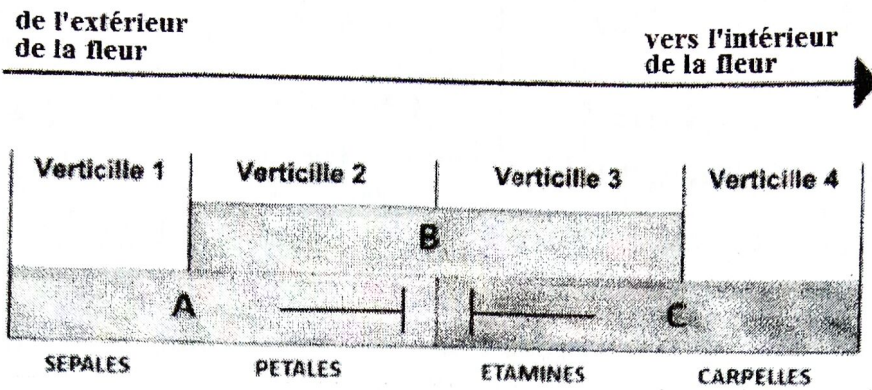
- المجموعة [A] (تحويل السبلات إلى كرابل والبتلات إلى أسدية)؛
- المجموعة [B] (تحويل البتلات إلى سبلات والأسدية إلى كرابل)؛
- المجموعة [C] (تحويل الأسدية إلى بتلات والكرابل إلى سبلات).

لقد سمحت دراسة هذه الطفرات بوضع نموذج للمراقبة الوراثية للتنظيم الزهري. اطلق على هذا النموذج [ABC]، والذي يقترح بأن الهوية المتحصل عليها لكل محيط زهري على مستوى الزهرة في طور النمو تكون مراقبة بواسطة التعبير لخليط من مورثات النمو للمجموعات الثلاث [A] و [B] و [C]؛ لاحظ المخطط التالي:

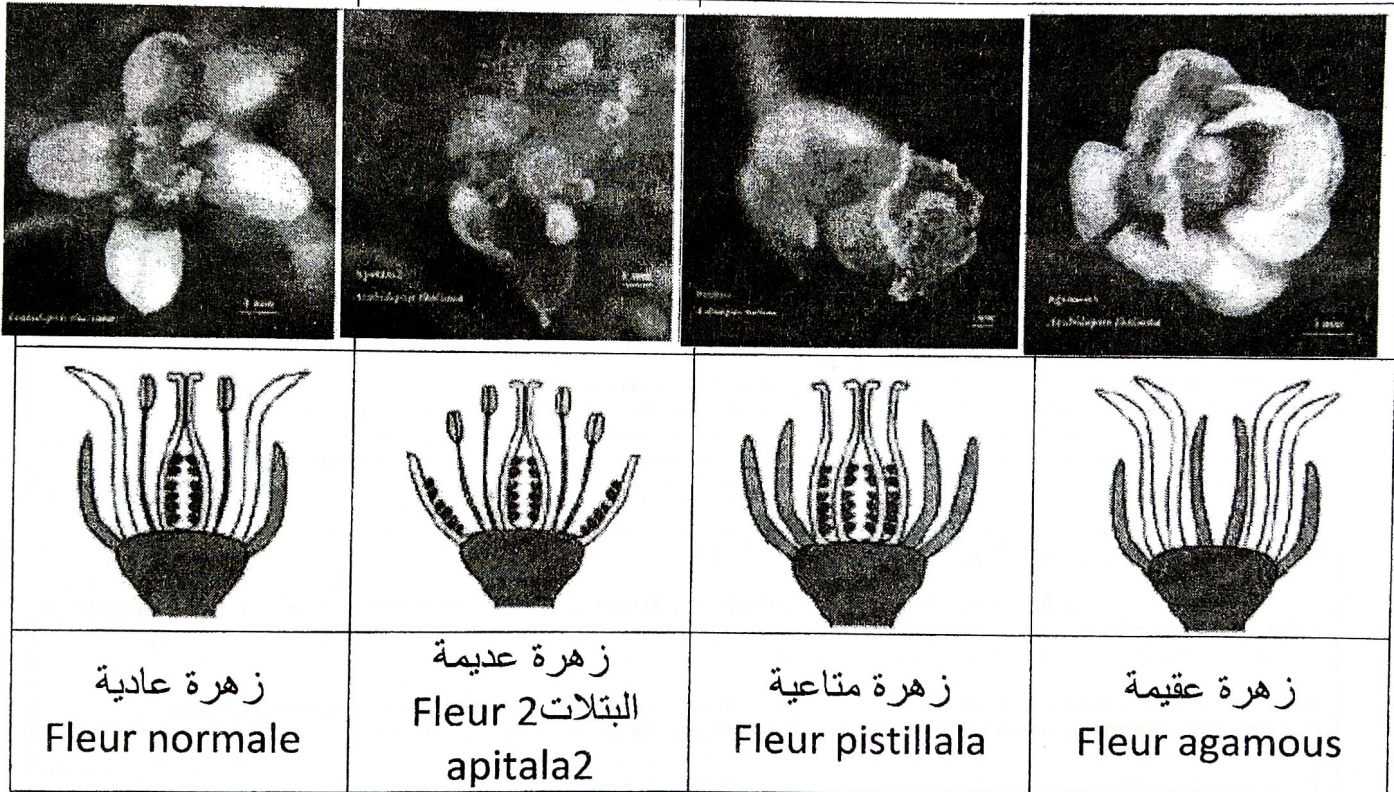


س: إذن ما هو النموذج [ABC]؟

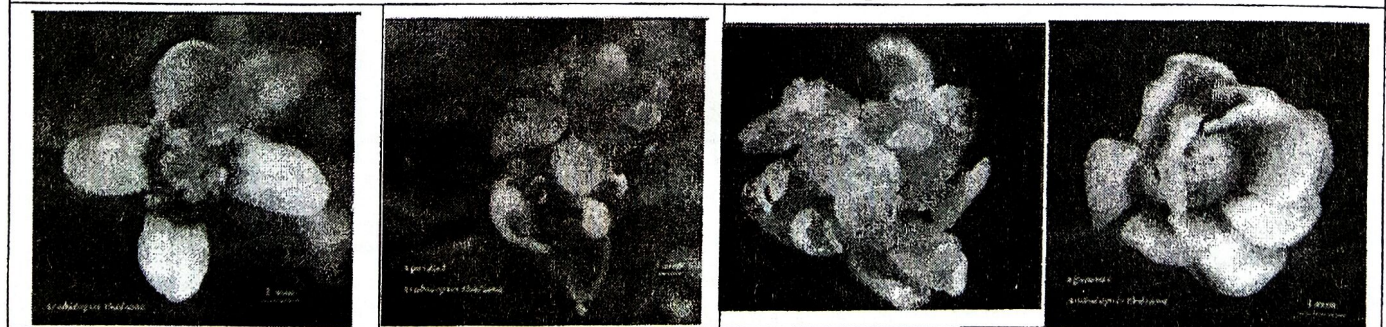
ج: يوضح النموذج [ABC] وراثة النمو الزهري؛ وحسب هذا النموذج، يوجد ثلاثة أنماط من المورثات يطلق عليها [A] و [B] و [C]، تحدد هوية النمو الزهري؛ لاحظ المخطط التالي:

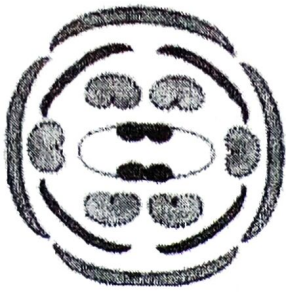


طفرات في أزهار *Arabidopsis thaliana* (الطفرات A و B و C) منظر جانبي
Arabidopsis thaliana, fleurs mutantes (mutants A, B et C) vue latérale.

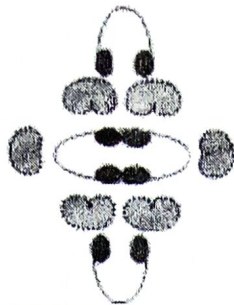


طفرات في أزهار *A. thaliana* والمخططات الزهرية
A. thaliana, fleurs mutantes et diagramme floraux.

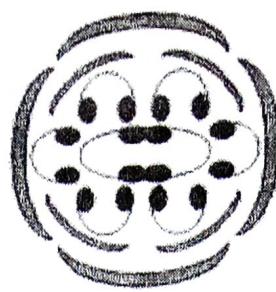




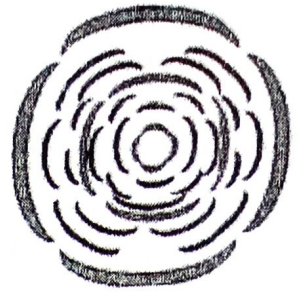
زهرة عادية
Fleur normale



زهرة عديمة
البتلات 2
Fleur apitala3
et pistillala



زهرة متاعية
Fleur pistillala



زهرة عقيمة
Fleur agamous

مقارنة لتسلسل النكليوتيدات لمورثات المجموعات A و B و C لنبات *Arabidopsis thaliana*

Comparaison des séquences nucléotidiques des gènes A, B et C pour *Arabidopsis thaliana*

مقارنة مورثة المجموعة A مع الأربع أنماط للأزهار

Comparaison d'un gène de classe A pour les quatre types de fleurs :

	0	10	20	30	40	50	60	70	80	90
ment										
és										
u normal	ATGATGCGGAGAGGCGAGATCCAGATCAGAGCATAGACACACACACACACAGTACCTATTTCAGACAGAGAGATGCTTTATTTCAGAGAA									
apetala-2										
pistillata										
agamous										

مقارنة مورثة المجموعة B مع الأربع أنماط للأزهار

Comparaison d'un gène de classe B pour les quatre types de fleurs :

	70	80	90	100	110	120	130	140	150	160	170
ment											
és											
u normal	AATCGATTGCTGAGGAGGCTAAGAGATCAGCTTCCTTTCTGATCGAAGATTGCTCTCATATCTTTCAGACTAATGCTAGATGATTGATTACT										
apetala-2											
pistillata											
agamous											

مقارنة مورثة المجموعة C مع الأربع أنماط للأزهار

Comparaison d'un gène de classe C pour les quatre types de fleurs :

	490	510	520	530	540	550	560	570	580	590
ment										
és										
u normal	ATCGACTACATGCAAGAGAGAGAGATTGATTTCATACGATACAGATTCTTCTGCAAGATAGCTGAAATGAGAGAGAACATCCGAGTATA									
apetala-2										
pistillata										
agamous										

Mutant apetala 2

طفرة عديمة البتلات 2

Activité des gènes	VERTICILLE 1	VERTICILLE 2	VERTICILLE 3	VERTICILLE 4
A				
B				
C				

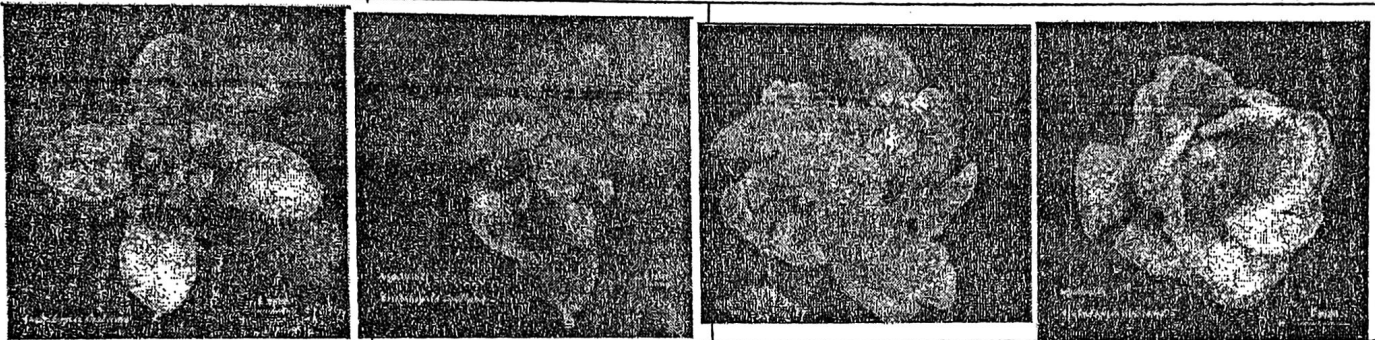
طفرة المجموعة [A] (تحويل السبلات إلى كرابل والبتلات إلى أسدية).

Mutant du groupe A : transformation des sépales en carpelles et des pétales en étamines.

Activité des gènes	VERTICILLE 1	VERTICILLE 2	VERTICILLE 3	VERTICILLE 4
A				
B				
C				
	SEPALE	PETALE	PETALE	SEPALE

طفرة المجموعة [C] (تحويل الأسدية إلى بتلات والكرابل إلى سبلات).
Mutant du groupe C : transformation des étamines en pétales et les carpelles en étamines.

طفرات في أزهار *A. thaliana* والمخططات الزهرية مع إيضاح المورثات النشطة
A. thaliana, fleurs mutantes avec diagramme floraux et les gènes actifs.



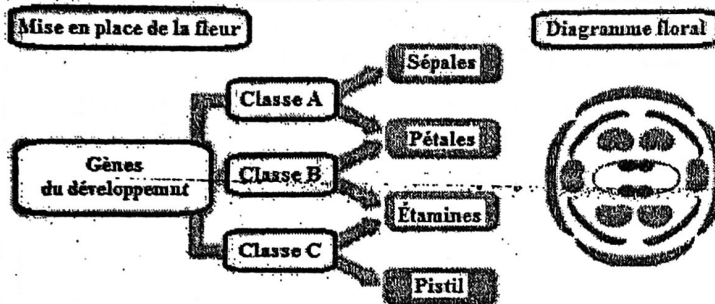
زهرة عادية Fleur normale	زهرة عديمة البتلات 3 Fleur apistylous 3 et pistillous	زهرة متاعية Fleur pistillous	زهرة عديمة الأعضاء التكاثرية Fleur agamous
<p>Gene actif</p> <p>1 2 3 4</p> <p>Verticille</p>	<p>Gene actif</p> <p>1 2 3 4</p> <p>Verticille</p>	<p>Gene actif</p> <p>1 2 3 4</p> <p>Verticille</p>	<p>Gene actif</p> <p>1 2 3 4</p> <p>Verticille</p>

Conclusion : La mise en place des différentes pièces florales est contrôlée par l'expression de gènes appelés gènes du développement. Ces derniers, regroupés en 3 groupes (A, B et C) déterminent l'identité des pièces florales portées par chacun des verticilles.

الخاتمة: يكون تموضع مختلف القطع الزهرية مراقباً بواسطة تعبير مورثات النمو. تضم هذه الزمرة من المورثات 3 مجموعات هي (A و B و C)، والتي تحدد هوية القطع الزهرية المحمولة على كل محيط زهري.

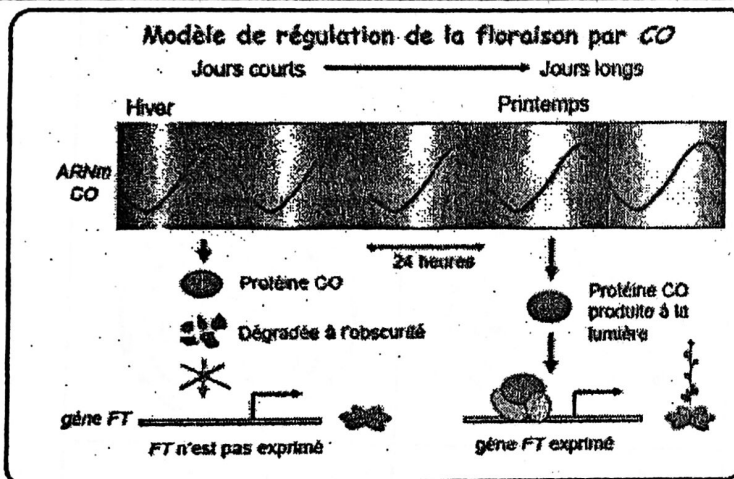
Bilan (Selon le texte de E. MEYEROWITZ):
 Dans les fleurs normales, l'activité A s'exprime dans les verticilles 1 et 2, l'activité B dans les verticilles 2 et 3, et l'activité C dans les verticilles 3 et 4 (Voir le schéma). Les activités A et C s'excluent mutuellement: lorsque l'une est absente, l'autre s'exprime dans tous les verticilles. Les tissus où seule l'activité A est présente forment des sépales, tandis que les pétales résultent de la combinaison des activités A et B. Des étamines se développent lorsque les activités B et C sont simultanément présentes, alors que des carpelles se forment en présence de la seule activité C.

الحصيلة (النص مقتبس من E. MEYEROWITZ):
 يتم التعبير في الزهور العادية عن النشاط A في المحيطين 1 و 2 والنشاط B في المحيطين 2 و 3 والنشاط C في المحيطين 3 و 4 (لاحظ المخطط اللاحق). الأنشطة A و C تستبعدان بشكل متبادل: عندما يكون أحدهما غائبًا، يتم التعبير عن الآخر في جميع المحيطات. الأنسجة التي يكون فيها النشاط A لوحده موجودًا تشكل السبلات، في حين أن البتلات تكون ناتجة عن الجمع بين النشاطين A و B. تنمو الأسدية عندما يكون النشاطان B و C متواجدين في نفس الوقت، في حين أن الكرابل تتشكل في وجود النشاط C لوحده.



الشكل: إنشاء وتنظيم النباتات الزهرية في الحالة العادية.

Mise en place et organisation de la plante à fleur à l'état naturelle.



تابع للشكل 10: توضيح لنموذج تنظيم الإزهار بواسطة CO و FT؛ لاحظ لماذا لا تزهر النباتات في الشتاء وتزهر في الربيع؟
 ج: في الربيع تستطيع CO أن تتحد مع نواتج المورثة FT.

Conclusions Mise à fleur = changement d'état du méristème

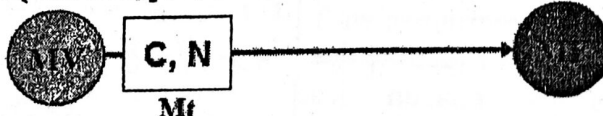
① cas complexes (Ex : jusquiame noire, bisannuelle)



② cas particuliers (Ex : bulbes)



③ cas simples ! (Ex : lilas, pois, cerisier...)



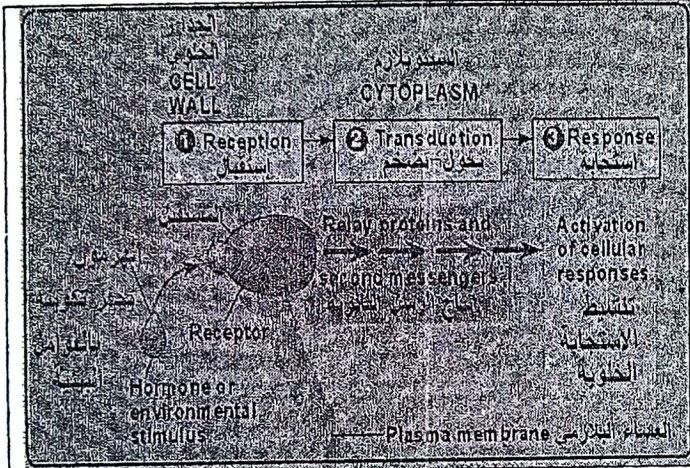
الفصل السادس الهرمونات النباتية

تعريفها: هي جزيئات عضوية طبيعية نشطة، تلعب دورا أساسيا في تنظيم نمو النباتات؛ تبني داخل مناطق مختلفة من النبات، ثم تنقل إلى مناطق أخرى من النبات، قد تكون قريبة أو بعيدة حسب الحالات، أين تحدث تأثيرات فسيولوجية بتركيز منخفضة جدا، كالتواصل بين الخلايا خلال عملية تكوين الأعضاء؛ وتؤثر في خلايا، تعرف بالخلايا الهدف المحتوية على المستقبلات الملائمة. لذلك عادة ما توجد داخل الأنسجة النباتية بتركيز أقل من 1 ميكرومول/لتر.

إن مصطلح الهرمونات النباتية phytohormones، كلمة لاتينية مكونة من شقين phyto = نبات، هرمون hormone، ومعناها القوة المحركة أو الباعثة على النشاط وعادة ما يطلق مصطلح (phytohormones) على الهرمونات النباتية أو منظمات النمو (régulateurs de croissances) التي تسند إليها وظيفة ضمان النمو للنبات وتشكله. كما في حالة الأوكسين الذي يساهم في تكوين أعضاء النبات (الجذور مثلا) ونموها، كما تتدخل أيضا في ظواهر الانتحاء (tropismes) ... الخ.

La notion d'hormone chez les végétaux
الهرمون النباتي عبارة عن جزيئة داخلية المنشأ، قليلة الديناميكية وحاملة لمعلومة (=إشارة) تنقلها إلى الخلية الهدف الحساسة لتأثيرها، أين تؤثر على وظائفها. وتتميز عن الهرمونات الحيوانية، بغياب نسيج متخصص في إنتاجها، وأن الإشارة التي تطلق إفراز الهرمون، غالبا ما تكون ذات مصدر بيئي (توافق ضوئي، برودة، إجهاد حيوي أو غير حيوي .. الخ)، وليست كما في الحيوانات، بواسطة إشارة منحدرية من الكائن نفسه، الشكل (1-6).

مفهوم المستقبل الهرموني: إن التعرف على الإشارة الهرمونية من طرف خلية نباتية وتحولها إلى معلومة صالحة للاستخدام، لا يتم إلا في وجود مستقبل يكون في الغالب من طبيعة بروتينية وذو ألفة قوية ونوعية دقيقة نحو الهرمون. إن غياب المستقبل الهرموني يحد عملا محددا لعمل هذا الهرمون. إن الربط بين الهرمون-المستقبل يقود إلى تنشيط المستقبل وذلك بإحداث تغيير متعلق بالهيئة.



الشكل (1-6): الملخص العام لآلية عمل الهرمونات النباتية.

تتميز الهرمونات النباتية عن الهرمونات الحيوانية في عدة نقاط:

- I- لا تُعد جزيئات بروتينية، ويمكنها أن تكون على هيئة غاز مثل الإثيلين. لا يقتصر إفرازها على أعضاء متخصصة في النبات (توجد مناطق مفضلة للبناء فقط).
- II- يتغير تأثيرها حسب تركيزها: فمثلا في التركيز الضعيف 10-10 غ/مل، فإن الأوكسين له تأثير موجب منفصل على نمو الجذر. أما في التركيز المرتفع 10-8 غ/مل، فإن الأوكسين تثبط للتطاول وتحت على تشكل الجذور.
- III- نادرا ما تؤثر بشكل منفرد: في الغالب تنجم تأثيراتها عن تأثير منسق للعديد من الهرمونات (فمثلا: تحفيز الانقسام الخلوي، يتم بفضل التأثير المقرون للأوكسين والسيتوكينين) أو عن طريق التأثيرات المضادة مثل رفع السبات الذي يضبط بالتوازن بين حمض الجبرليك (GA) وحمض الأبسيسيك (ABA) .. الخ، الشكل (2-6).

1. عبور الهرمونات النباتية Passage des hormones végétales

يجب على الهرمونات النباتية ذات الجزيئات الصغيرة أن تعبر الجدار الخلوي قبل أن تصل إلى مستقبلاتها، الشكل (1-6). تؤثر في العموم على النمو والتطور بتأثيرها على الانقسام والتطاول والتمايز الخلوي. يمكنها أن تنتج العديد من التأثيرات، حسب تركيزها وحسب مكان تواجدها. بإمكانها أن تؤثر داخل النسيج الذي ينتجها أو عن بعد. إنها منظمات كيميائية نادرا ما تؤثر بمفردها، ولكن تؤثر بتناسق مع المنظمات الداخلية الأخرى، وكذلك مع العوامل البيئية المحيطة.

2. تحول-تضخم المحفز Conversion-amplification du stimulus

لكي يتفاعل النبات مع محفز، يجب أن يحتوي هذا الأخير على مستقبل. وعادة ما يكون من طبيعة البروتينات الغشائية أو السيتوبلازمية وحتى النووية. بمجرد حدوث التنشيط، يطلق المستقبل سلسلة من التفاعلات تقود إلى إنتاج الرسل الثانوية seconds messengers. هذه الأخيرة تطلق لاحقا استجابة النبات. لنشاهد بالتفصيل سلسلة التفاعلات التي يطلق عليها مصطلح تحول-تضخم.

(أ-) الاستقبال Réception

تستطيع الهرمونات أن تبدي نشاطها في حالة قدرة الخلايا-الهدف أن تتحسس وجودها. لذلك يجب أن يتوفر لها مستقبل والذي يمكن أن يوجد على الغشاء البلازمي أو داخل السيتوبلازم. تكون المستقبلات عبارة عن بروتينات تغير من بنيتها ثلاثية الأبعاد عندما ترتبط بالهرمون. بمجرد أن تتغير تولد سلسلة من التفاعلات داخل الخلية-الهدف.

(ب-) إنتاج الرسل الثانوية Production de seconds messengers

نظرا لكون الهرمونات تنتج بكميات ضئيلة جدا، لذلك يجب أن يضخم المحفز حتى يستطيع أن ينتج استجابة معنوية. يمر هذا التضخم بواسطة إنتاج الرسل الثانوية مثل الـ GMP cyclique و AMP cyclique، تكوين معقد الكالمودولين-كالمسيوم "complexe calmoduline-Ca²⁺". إن إنتاج الرسل الثانوية يضخم لأن كل مستقبل يمكن أن يجر إلى إنتاج مئات الجزيئات للرسل الثانوية.

ج- الاستجابة Réponses

بمجرد أن تتشكل الرسل الثانوية، يمكنها تنشيط إنزيمات أخرى، كإنزيمات البروتينات كيناز النوعية "protéines kinases spécifiques" أو أيضا تنشيط أو تثبيط عوامل الاستنساخ "facteurs de transcription".

Les différents types d'hormones végétales

يرجع الاكتشاف الحقيقي للهرمون النباتي إلى سنة 1926، بفضل أعمال "وونت Went" حول الأوكسين. وإلى غاية سنة 1950م، كان الأوكسين يمثل الهرمون الوحيد، وبعد هذا التاريخ، تم اكتشاف هرمونات نباتية أخرى، حيث تم إثبات أهميتها مع مرور الزمن. ويمكن سردها حسب التسلسل الزمني: الجبرلينات (Gibberellines, 1950) والسيتوكينينات (Cytokinines, 1955) والإثيلين (Ethylène, 1960) وحمض الأبسيسيك (Acide abscissique, 1965) والبراسينوستيرويدات (Brassinostéroïdes, 1995) ... الخ.

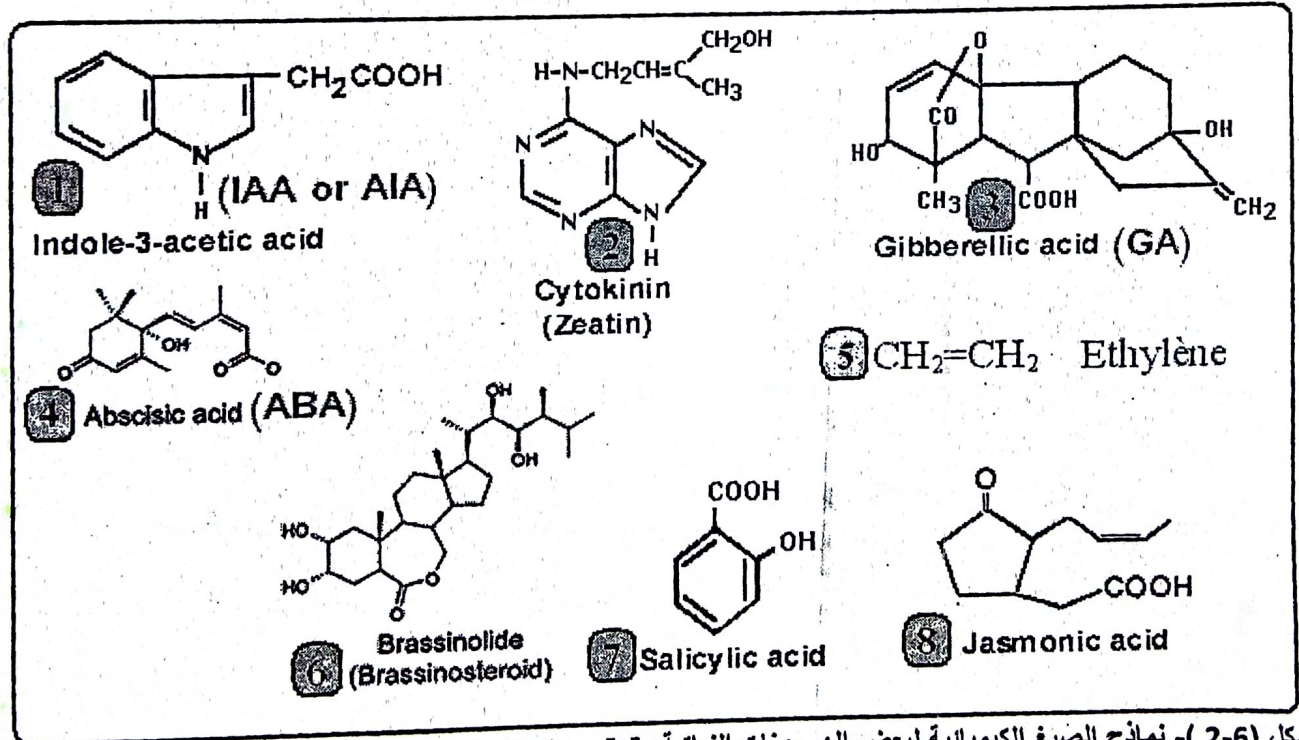
في الوقت الحالي، تم اعتماد 6 أنماط من الهرمونات النباتية والتي نميز فيها ما يلي:

04 هرمونات محفزة (التي تحت أو تحفز الظاهرة الفسيولوجية): ❖- الأوكسين Auxines؛ ❖- السيتوكينينات Cytokinines؛ ❖- الجبرلينات Gibberellines؛ ❖- البراسينوستيرويدات Brassinostéroïdes. بالنسبة لهذه الهرمونات نلاحظ عدة فصائل من الجزينات النشطة.

وبالتوازي، نميز 02 من الهرمونات ذات تأثيرات مختلطة وهي: ❖- الإثيلين Ethylène؛ ❖- حمض البسيسيك (ABA) في هاتين الحالتين الأخيرتين، تم الكشف على بنية واحدة نشطة.

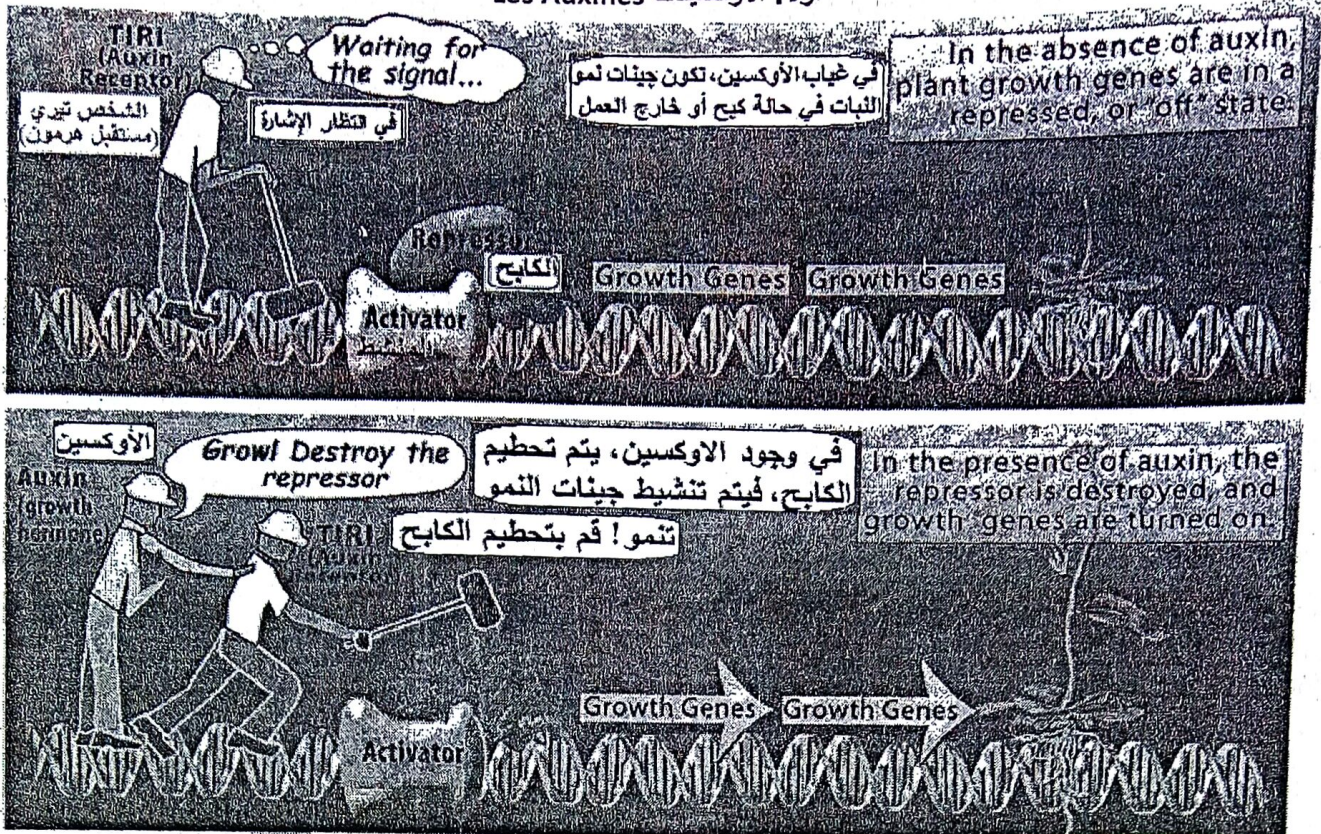
ملاحظة: وقع تضارب بين الباحثين في أدوار بعض الجزينات الطبيعية، البعض يسند إليها دور "الوسائط الكيميائية médiateur chimiques" لدى النباتات مثل متعددات الأمين "polyamines" والجاسمونات "jasmonate" والساليسيلات "salicylate" والسكريات قليلة التعدد "oligosaccharides" ...، ويرى فيها البعض الآخر، أنها لم تحصل بعد على رتبة الهرمونات النباتية؛ بينما يرى طرف ثالث بأنها عبارة عن هرمونات طوارئ، حيث لاحظ أنصار هذا الفريق أن تركيز هذه الفئة الأخيرة من هذه المركبات يزداد معنويا داخل النباتات عند الإصابة بحالات الإجهاد الحيوي "stress biotique" وغير الحيوي "stress abiotique".

ونعلم اليوم بأن "الجاسمونات jasmonate" تنظم وتضبط إنبات البذور ونمو الجذور وتراكم البروتينات الادخارية وبناء بروتينات الدفاع. تستعمل الطماطم "السيسيمين systémine"، ببتيدي صغير، كمؤشر للمسافات البعيدة لتنشيط الدفاعات الكيميائية في مجابهة آكلات العشب. لذلك فإن عدد المركبات التي تلعب دورا هرمونيا لدى النباتات في تزايد مستمر خلال العشرة الماضية، ويبدو اليوم أن النباتات تمتلك فهرسا من الإشارات الكيميائية الداخلية أكثر غزارة مما هو متداول لحد الساعة (Raven, 1992).

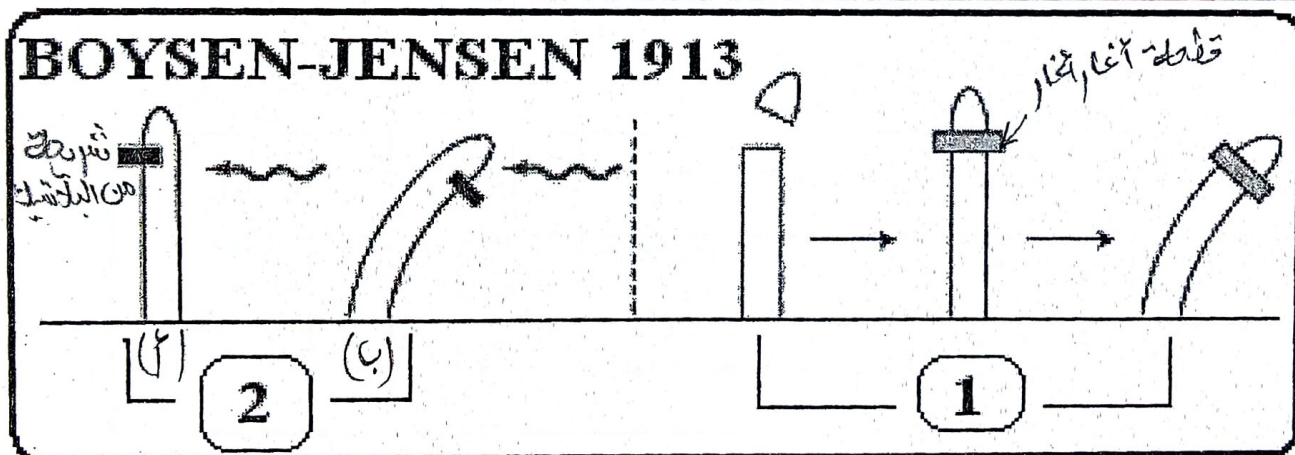
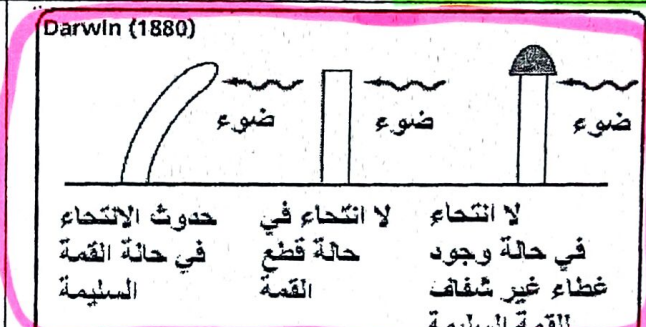
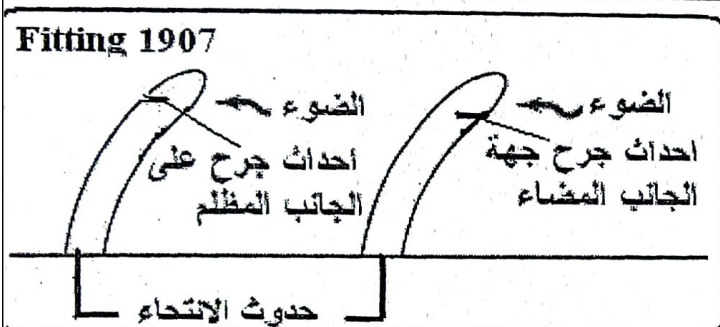


الشكل (2-6) - نماذج الصيغ الكيميائية لبعض الهرمونات النباتية: [1]-حمض إندول-3-خليك (AIA)، [2]-الزياتين (سيتوكينين)، [3]-حمض الجبرليك (AG)، [4]-حمض الأبسيسيك (ABA)، [5]-الإثيلين، [6]-حمض الساليسليك (AS)، [7]-حمض الجاسمونيك (AJ)، [8]-البراسينوليد (البراسينوستيرويدات).

أولاً: الأوكسينات Les Auxines



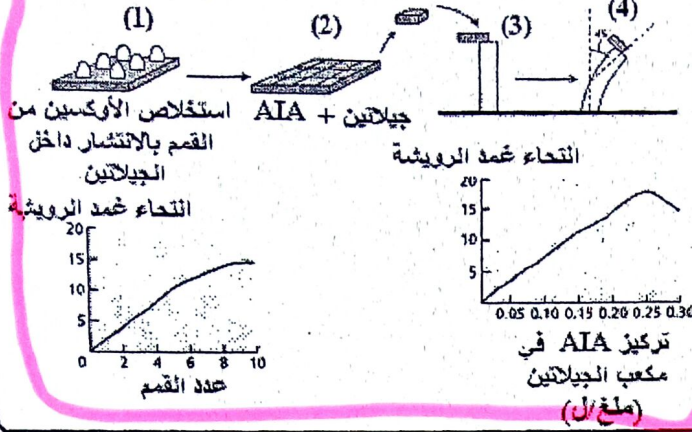
لمحة تاريخية عن اكتشافها:



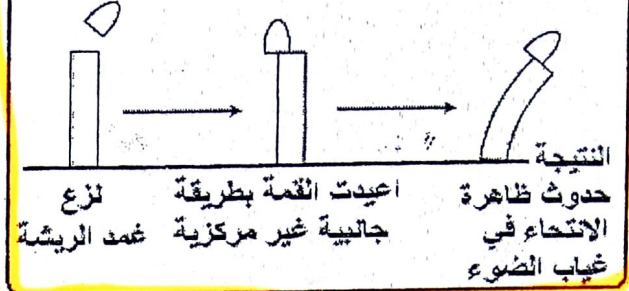
TIR1 يتحلل مستقبل هرمون الأوكسين

الاستنتاج: استجبت الخلايا النباتية للضوء من خلال انحنائها نحو الضوء. هذا يعني أن الأوكسينات تتحرك من الجانب المظلم إلى الجانب المضاء. عندما نضع قطعة أغار تحتوي على الأوكسين في القمة، فإنها تنحني نحو الضوء. هذا يعني أن الأوكسينات تتحرك من الجانب المظلم إلى الجانب المضاء.

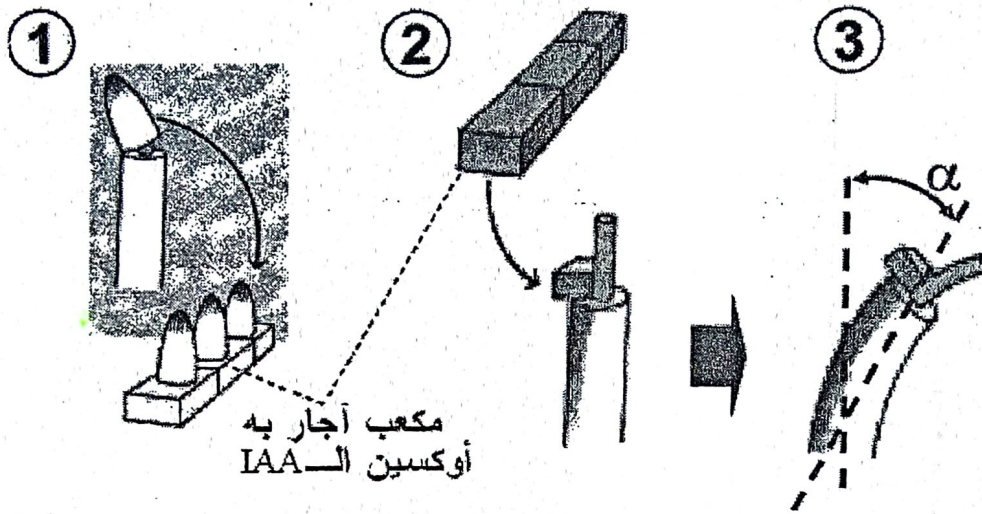
Went (1928)



Paál (1919)



اختبار ووانت (أو اختبار الشوفان) (Test de Went (ou test avoine))



شروط اجراء الاختبار: 90 د و الرطوبة النسبية = 90% الحرارة 22°م والظلام

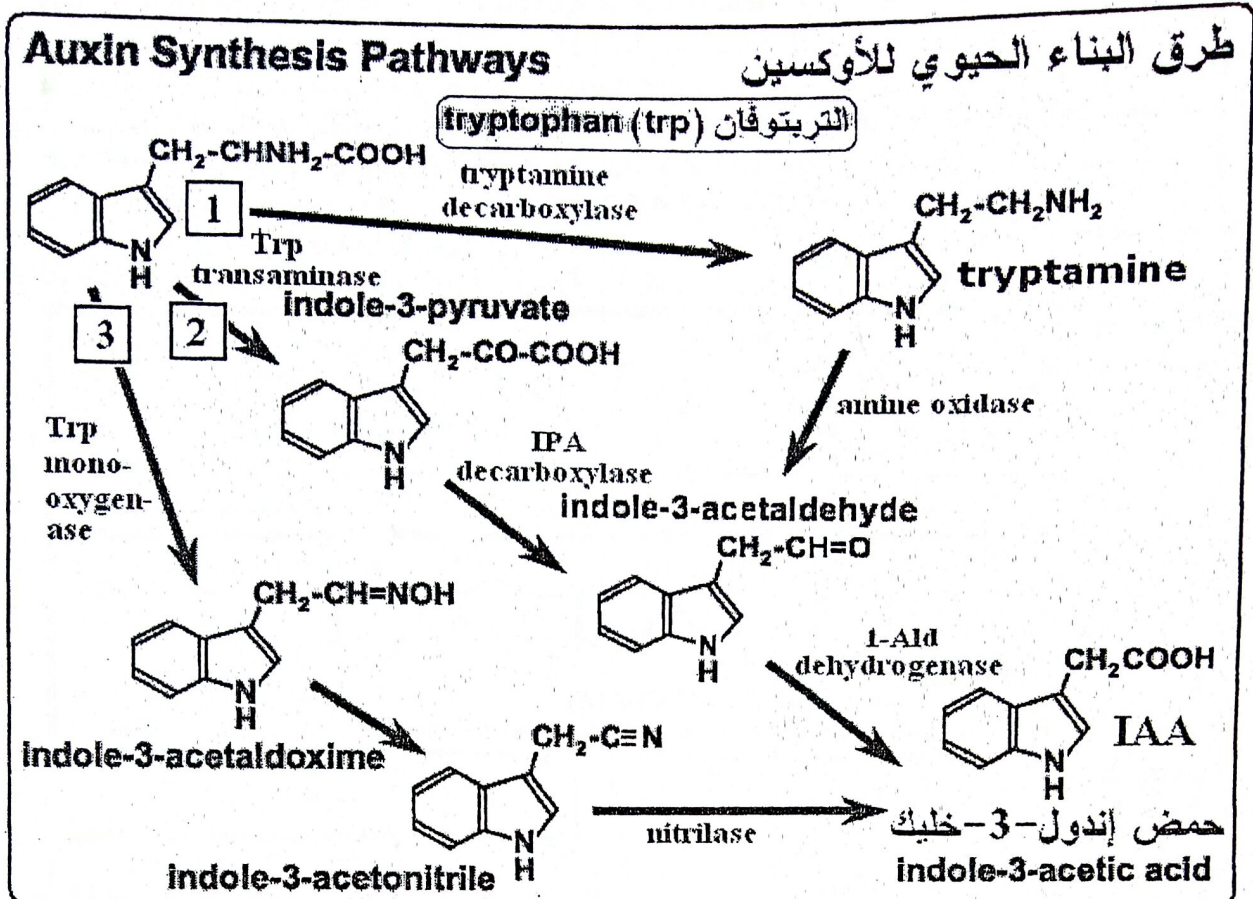
البناء الحيوي للأوكسينات Biosynthèse

الجدول: الطرق المختلفة للبناء الحيوي لأوكسين الـ AIA انطلاقا من التربتوفان

الجدول (1): الطرق المختلفة للبناء الحيوي لأوكسين الـ AIA انطلاقا من التربتوفان

الطلبية	رقم الطريق	الناتج الوسيط رقم 1	الناتج الوسيط رقم 2	الناتج النهائي (AIA & IAA)
 التربتوفان	1	تربتامين	إندول 3-اسيتالدوهيد	حمض إندول 3-خليك
	2	حمض إندول 3-بيروفيك	إندول 3-اسيتالدوهيد	
	3	إندول 3-اسيتالدوكسيم	إندول 3-أسيتونيتريل	

مناطق تمثيل الأوكسين **Lieux de synthèse de l'auxine**: يتم تمثيل الأوكسين في **قمم السيقان** داخل المناطق الإنشائية (المرستيمات) للبراعم الطرفية والأوراق الفتية. تستقبل هذه الأعضاء طلائع (précurseurs) مجرى البناء الحيوي للأوكسين، كالتربتوفان، الذي يتم تمثيله في الأوراق الأكثر نضجا وفي الضوء.



الشكل: طرق البناء الحيوي لأوكسين AIA عبر الترتيبوفان، بالصيغ الكيميائية والإنزيمات.

DEGRADATION DE L'AUXINE هدم الأوكسين

إن حمض أندول-3-خليك عبارة عن جزيئة قليلة الثبات بحيث يمكنها أن **تتفكك تحت تأثير الضوء**، في وسط ذات أسس هيدروجينية (pH) أعلى من 5، تحت تأثير الأوكسجين. وتتم عملية هدم الجزيئة بواسطة الأكسدة متبوعة بعملية نزع الكربوكسيل المحمولة على السلسلة الطرفية وأكسدة النواة.

→ أكسدة السلسلة الطرفية: oxydation de la chaîne latérale:

عن نتائج الهدم الأكثر شيوعا والذي تم كشفه هو أندول -3- فورم الدوهيد (l'indole-3-formaldéhyde) و اوكسيندول-3- مثيلان (l'oxindole-3-méthylène).

👉 أكسدة النواة: oxydation du noyau:

تحدث عملية الأكسدة فتح حلقة الإندول وتمنح بذلك حمض o- فورماميدو-بنزويل خليك (o-formamido-benzoylacétique). تحدث عمليات الأكسدة هذه بالتوازي وتكون محفزة بواسطة إنزيمات البيروكسيداز (AIA oxydase)، إنزيمات تحفز تثبيث الأوكسجين، وتتبع بتفاعلات الأيض الاعتيادية. وبمجرد حدوث الأكسدة فإن الأوكسين تصبح غير فعالة فسيولوجيا. تعزى كمية الأوكسين الضعيفة في الجذور بدون شك إلى النشاط المفرط لإنزيم (AIA oxydase). وبالمقابل فإن بعض الأوكسينات المصنعة مثل (2,4-D) لا يتم هدمها بواسطة هذه الإنزيمات، مما يقود إلى تراكمها بكميات مرتفعة محدثة بذلك التأثيرات السمية، وما يعرف بالتأثير المبيد للحشائش (effet herbicide).

LES AUXINES DE SYNTHÈSE - للأوكسينات الاصطناعية

نظرا لكون حمض أندول-3-خليك كجزئية قليلة الثبات، في التطبيقات الزراعية، لذلك نستعمل المواد الصناعية ذات نشاط أوكسيني. لقد سمحت البحوث بتحديد الشروط الأساسية الخاصة ببنية المركب الصناعي ليقدم نشاط أوكسيني وهي:

- يجب أن يحتوي المركب على حلقة (نواة) غير مشبعة مع روابط مضاعفة بجوار السلسلة الطرفية؛ حجم الحلقة لا يؤثر؛
- ليست ضرورية البنية الاندولية للحلقة؛

- يجب ان تحمل السلسلة الجانبية وظيفة

وعليه فلقد تم حصر العديد من المركبات الصناعية لنشاطها الأوكسيني. وتصنف في ثلاثة مجموعات:

1- المركبات الإندولية Les composés indoliques

تحتوي جميع هذه المركبات على نواة أندول وتختلف فيما بينها عن طريق السلسلة الطرفية. نذكر على سبيل المثال لا الحصر حمض أندول-بروبيونيك (AIP) وحمض أندول-بيبتريك (AIB)، يمكن لهذا الأخير أن يتواجد طبيعياً داخل النباتات ولكن بكمية ضعيفة.

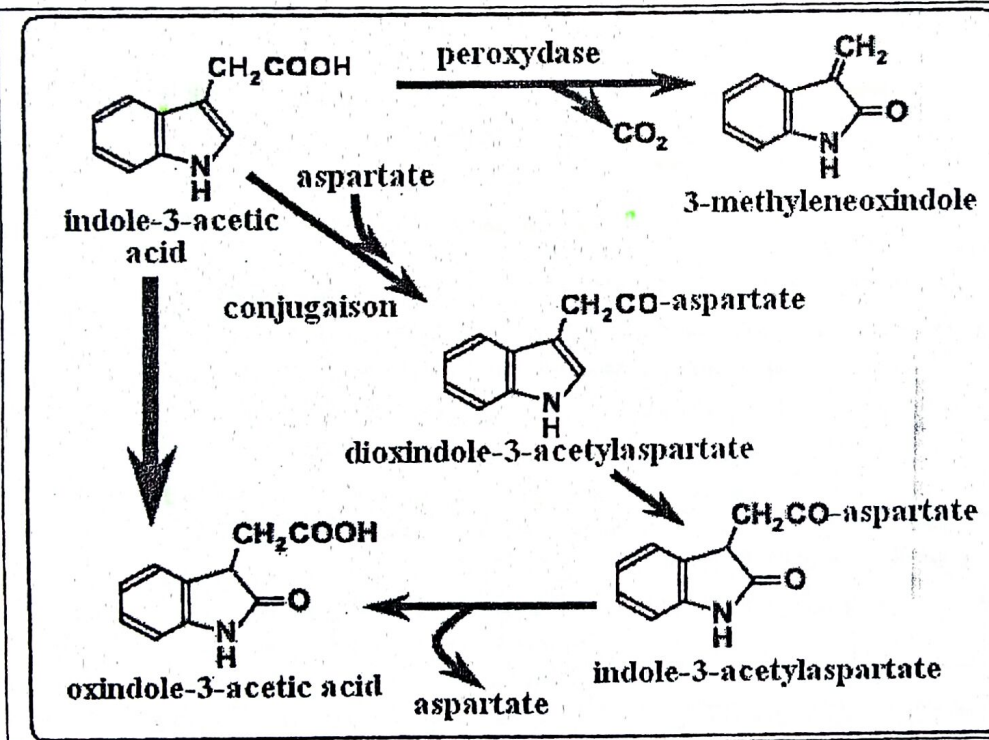
2- حمض نفتالين-خليك L'acide naphtalène-acétique

يعتبر ال-ANA من أكثر الأوكسينات الاصطناعية الشائعة الاستعمال، وكبقية الهرمونات الاصطناعية فهي غير حساسة للضوء ولا لإنزيمات الأكسدة.

3- مشتقات حمض فينوكسي-خليك Les dérivés de l'acide phénoxyacétique

تعتبر هذه المشتقات من الهرمونات الاصطناعية الأكثر انتشارا على هيئة أحماض، أملاح أو أسترات. والمعروفة جدا هي: * حمض 2,4 - ثنائي كلوروفينوكسي-خليك أو 2,4-D ، * حمض 2,4,5 - ثلاثي كلوروفينوكسي-خليك أو 2,4,5-T ، * حمض ميثيل-كلوروفينوكسي-خليك أو MCPA ، وفيما يلي نعطى نماذج لبعض الصيغ الطبيعية والأوكسينات الصناعية:

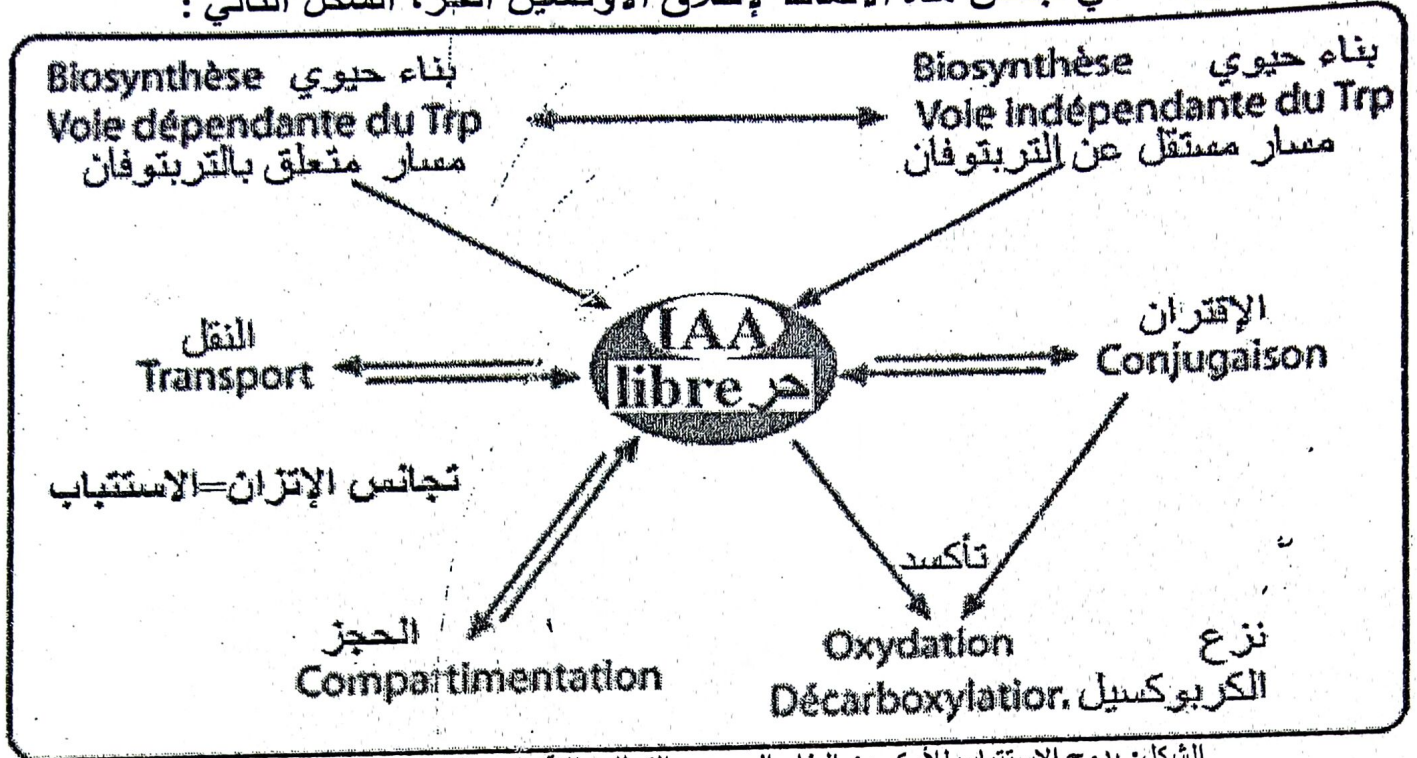
<p>8</p> <p>(2,4-D)</p> <p>Acide 2,4-dichlorophénoxyacétique</p>	<p>5</p> <p>(ANA)</p> <p>Acide α-naphtalène acétique</p>	<p>3</p> <p>(AIA)</p> <p>Acide indole-3-acétique</p>	<p>1</p> <p>(AIB)</p> <p>Acide indole-3-butyrique</p>						
<p>9</p> <p>(2,4,5-T)</p> <p>Acide 2,4,5-trichlorophénoxyacétique</p>	<p>6</p> <p>(ANOA)</p> <p>Acide α-naphtalène oxyacétique</p>	<p>4</p> <p>(4-Cl-AIA)</p> <p>Acide 4-chloro-indole-3-acétique</p>	<p>2</p> <p>(APA)</p> <p>Acide phényl-acétique</p>						
<p>10</p> <p>(MCPA)</p> <p>Acide 2-méthyl 4-chlorophénoxyacétique</p>	<p>7</p> <p>(AbA)</p> <p>Acide benzylacétique</p>	<p>الصيغ الكيميائية المفصلة لبعض الأوكسينات الطبيعية والاصطناعية</p> <table border="0"> <tr> <td>[8] [5]</td> <td>[3] [1]</td> </tr> <tr> <td>[9] [6]</td> <td>الطبيعية [4] [2]</td> </tr> <tr> <td>[10] [7]</td> <td>الإصطناعية</td> </tr> </table>		[8] [5]	[3] [1]	[9] [6]	الطبيعية [4] [2]	[10] [7]	الإصطناعية
[8] [5]	[3] [1]								
[9] [6]	الطبيعية [4] [2]								
[10] [7]	الإصطناعية								



هدم الأوكسين: يمكن للأوكسين أن يتحلل بواسطة نزع الكربون (décarboxylation) أو بواسطة الأكسدة (oxydation). يعمل هذان الطريقتان على خفض المستويات العالية لتركيز الأوكسين داخل خلايا النباتات لتجنب الجرعات القاتلة، الشكل التالي:

كما يكون معظم الأوكسين بشكل مقرون في النباتات الراقية. يمكن لحمض إندول-3-خليك (AIA) أن يكون مقروناً مع السكريات برابطة إستيرية ، ومع الأحماض الأمينية أو مع الببتيدات برابطة أميدية. قد تُشكل هذه الأشكال، أنماط التخزين والنقل والحماية من

التخريب أو إزالة السمية للأوكسين الزائد (Bartel et al. 2001) ، و من ثم فمن المرجح أن يتم التحليل المائي لبعض هذه الأنماط لإطلاق الأوكسين الحر، الشكل التالي :



الشكل: يدمج الاستتباب للأوكسين البناء الحيوي والتحلل والإقتران والحجز الفرعي والنقل.

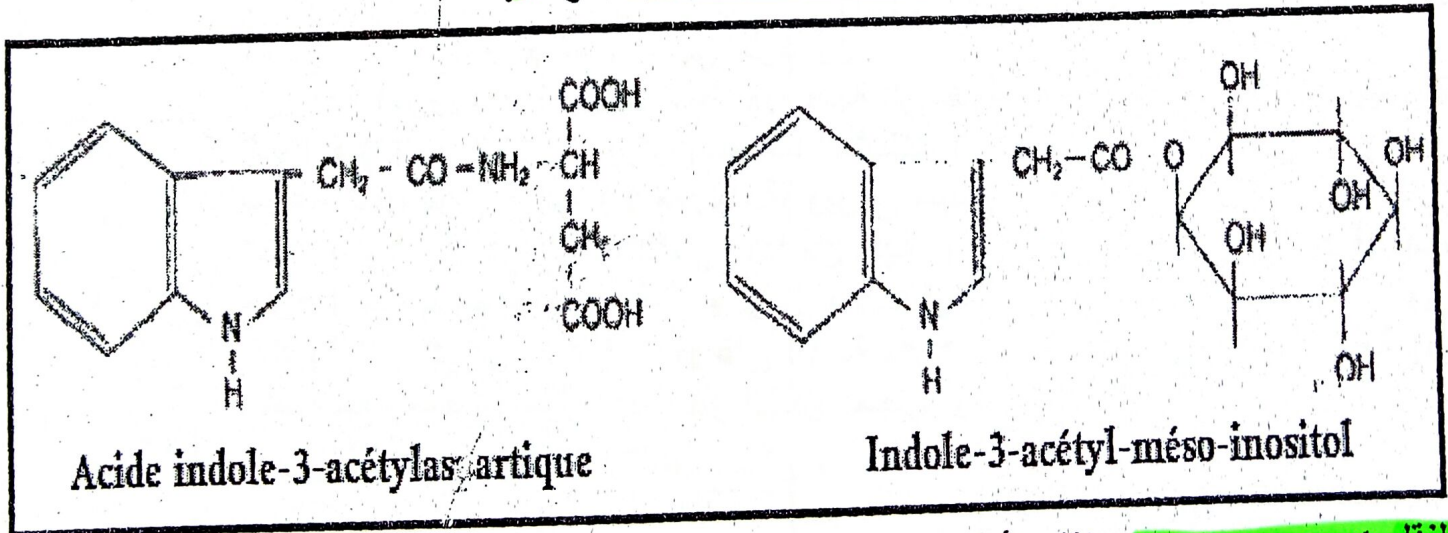
L'homéostasie de l'auxine intègre la biosynthèse, la dégradation, la conjugaison, la compartimentation et le transport.

إذن، غالبا ما يُلاحظ الأوكسين داخل النبات على الهيئة غير النشطة المخزنة في حالته المقرونة؛ كإسترات السكريات أو في شكل أميدات الببتيدات والأحماض الأمينية (Kelley K.B. & Riechers D.E. 2007)، وتستخدم هذه الأشكال غير النشطة كمخزون للأوكسين؛ بحيث يمكن تفككها بسرعة وتحرير الأوكسين الحر. إن وضع الأوكسين في شكل غير نشط يعد أيضا وسيلة حماية للنبات، بحيث يكون النبات قادرا على الحد من تركيزه الداخلي.

فمثلا فإن نوع جنس نبات Arabidopsis لديه 1% فقط من الأوكسين في شكله الحر، ولكن ما يقرب من 90% يكون كإسترات وحوالي 10% في شكل الأميدات (Woodward A.W. & Bartel B. 2005). أمثلة لأشكال تخزين الأوكسين

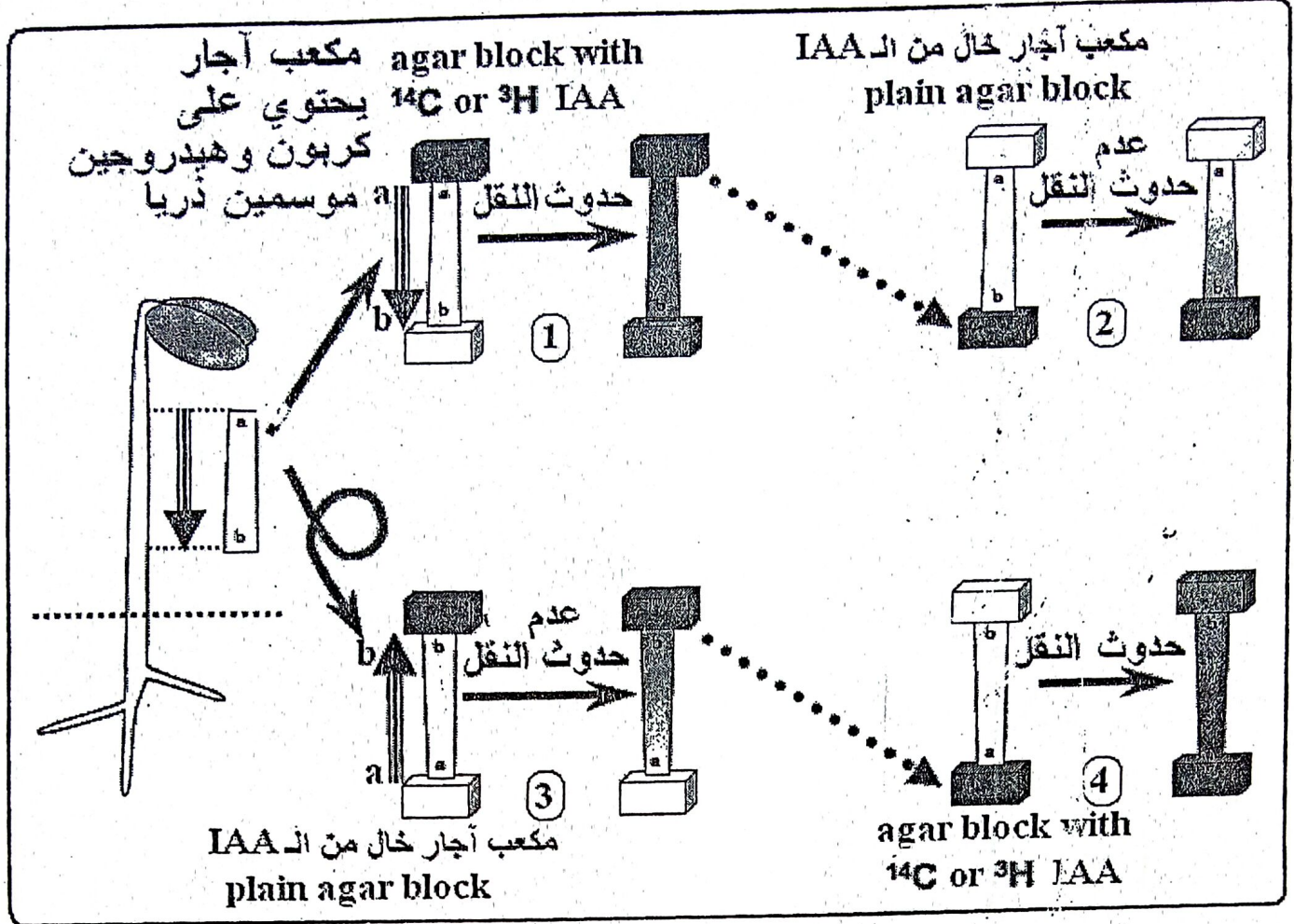
Formes de stockages d'auxine

- 1- تكون الاستجابات الفسيولوجية لهذه الأشكال سريعة، بحيث تتفكك وتحرر الأوكسين الحر النشط بيولوجيا.
- 2- ليست كل أشكال الإقتران المخزنة للأوكسين قابلة للتفاعلات العكوسة.



النقل Le transport: ينقل الأوكسين بطريقتين: 1- يكون النقل قطبيا لدى أوكسين AIA أي من القمة نحو القاعدة. فقد تمت تجارب على قطع من بادرات السويقة الجنينية تحت الفلقة، تثبت صحة

هذه الظاهرة التي يمكن تبيئتها بالشكل اللاحق. لذلك فإن هذا النقل يفترض أن يكون وحيد الاتجاه، كما في الحالة [1] و [4].



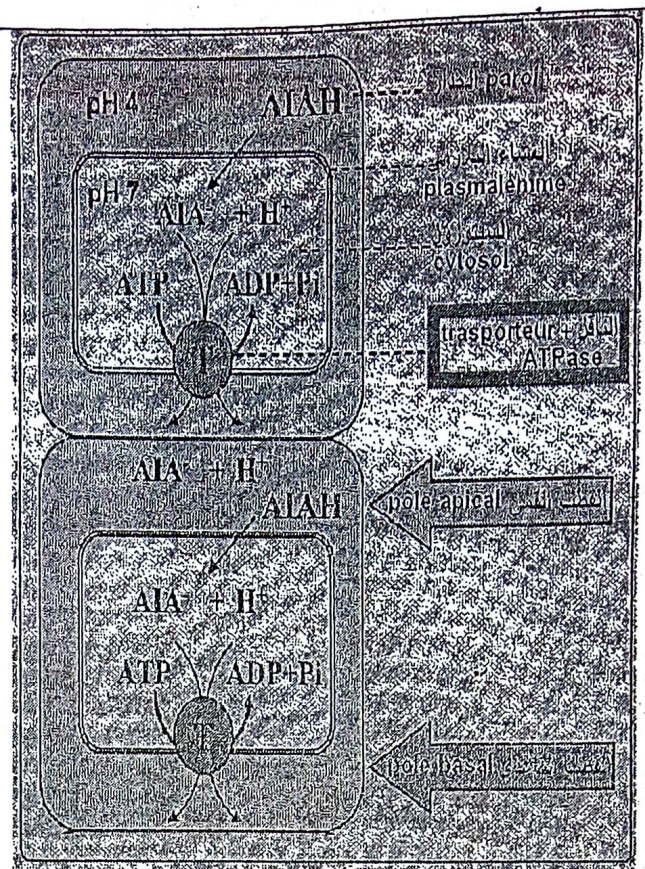
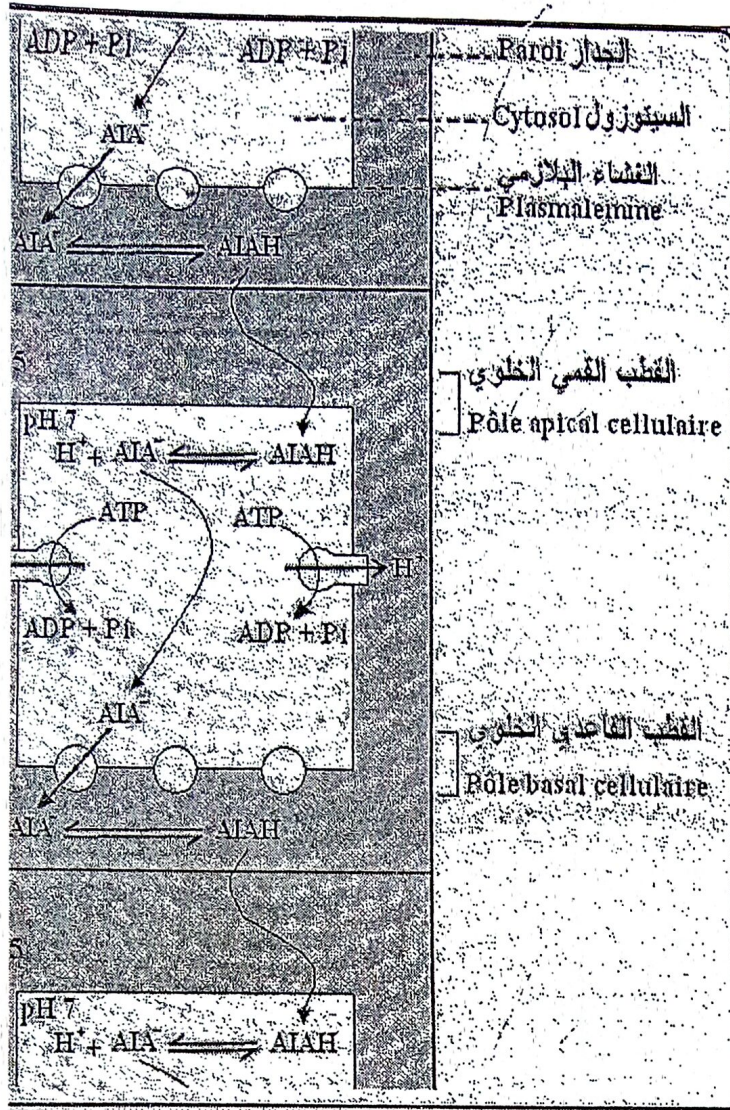
II- النقل غير القطبي Le transport apolaire

ينقل الأوكسين عبر اللحاء، ومن خلال هذه الأنسجة سوف يكون الأوكسين قادرا على التحرك. والواقع أن الاختلافات في تركيز الأوكسين في أجزاء مختلفة من قنوات النقل يسبب حركة هذه الجزيئة ليسمح ذلك بتوزيعها على جميع أجزاء النبات. لذلك فإن النقل القطبي يساعد على الضمان الدائم للاختلافات في التركيز.

شرح النقل القطبي Le transport polaire :

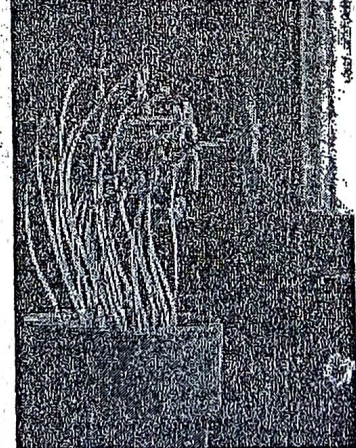
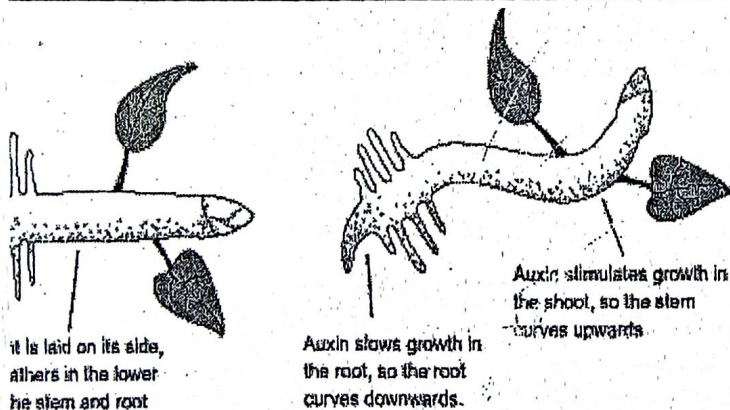
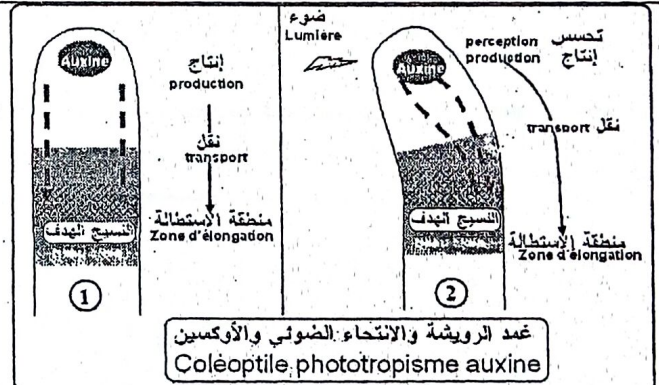
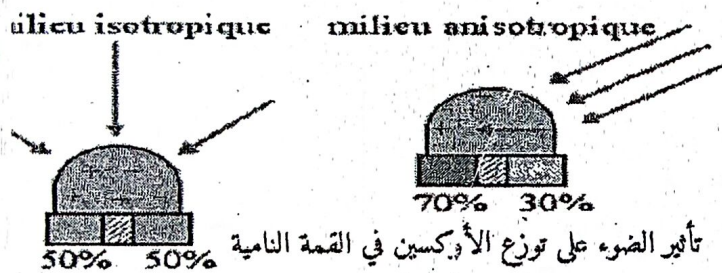
الأوكسين هو حمض ضعيف ($\text{pKa} = 4.8$) يكون قادرا على وجوده في هينتين الحامضية (IAAH) أو القاعدية (IAA^-) حسب الأس الهيدروجيني (pH). وعلى أساس هذه الاختلافات في خصائص الأشكال الحمضية-القاعدية يتم النقل القطبي للأوكسين.

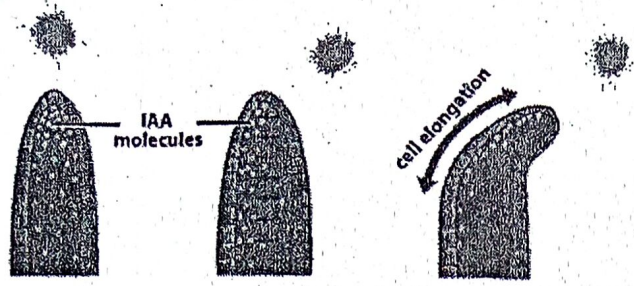
من جهة أخرى فهو يعد نقلا نشطا من خلية إلى خلية ويحفز بواسطة ATP ومتوقف على درجة الحرارة (T°) و (O_2)، ويكون حساسا للمثبطات الأيضية (cyanure, azide de sodium). تبلغ سرعة النقل من 10 إلى 20 مم/ساعة؛ ويرجع سبب هذا النقل القطبي إلى وجود النواقل في القطب القاعدي وغيابها في القطب القمي، هذا من جهة، ومن جهة ثانية، فإن AIAH في الوسط الحامضي خارج السيتوبلازم يصبح AIAH، فيدخل بالانتشار من جهة القطب القمي، وعندما يبلغ السيتوبلازم يفقد بروتين الهيدروجين فيصبح على الهيئة AIA^- ، فلا يستطيع أن يعبر الأغشية إلا بوجود نواقل خاصة مع وجود الـ ATPase. انظر الشكل المجاور والشكل اللاحق.



الشكل : النقل القطبي لأوكسين AIA حسب

فرضية Mary Helen Goldsmith



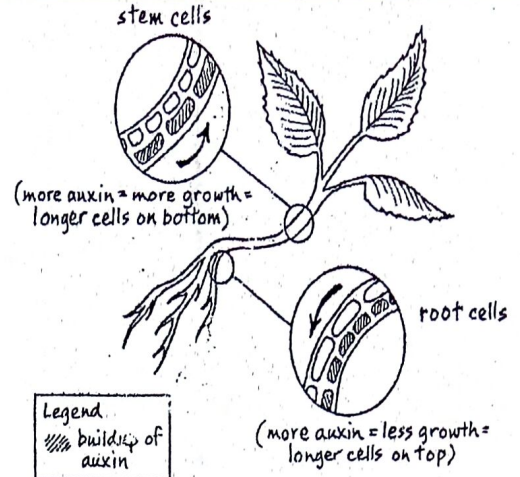


(a) When sunlight is overhead, the IAA molecules produced by the apical meristem are distributed evenly in the shoot.

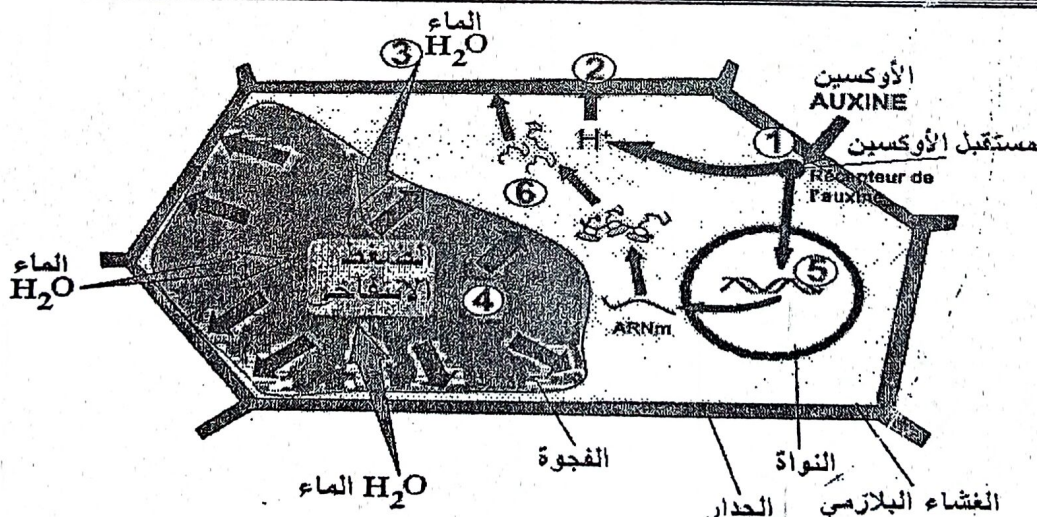
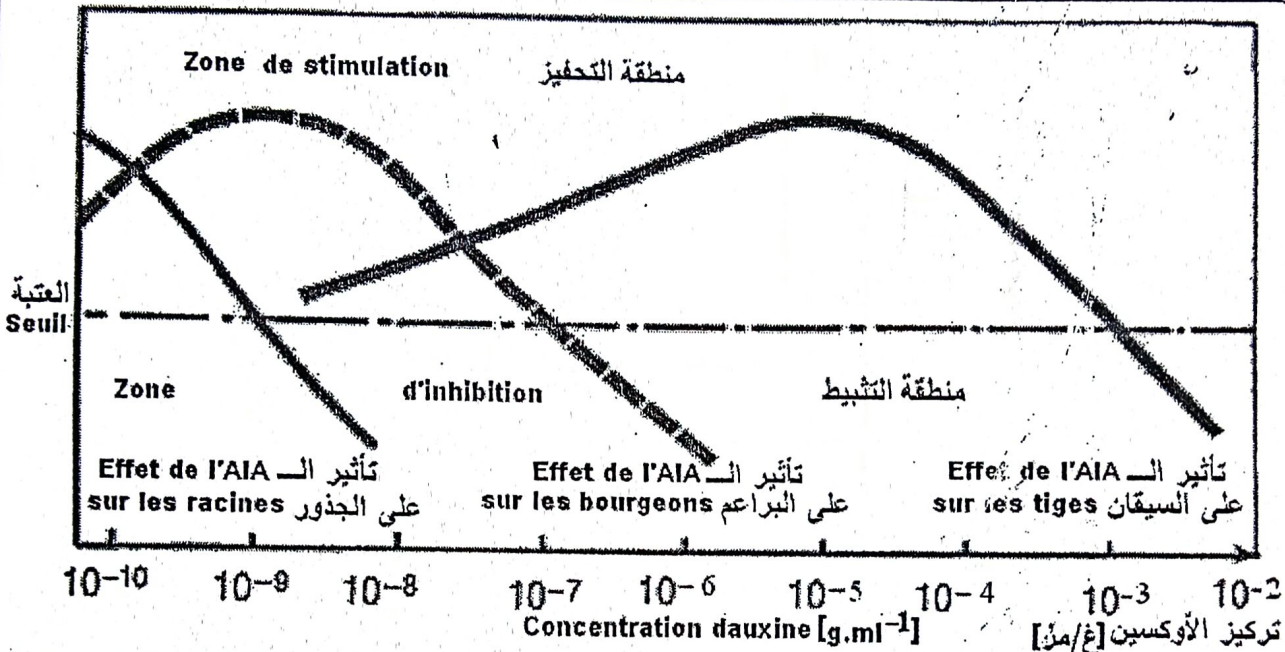
(b) Once the sunlight shines on the shoot at an angle, the IAA molecules move to the far side and induce the elongation of cells on that side.

(c) Cell elongation results in the bending of the shoot toward the light.

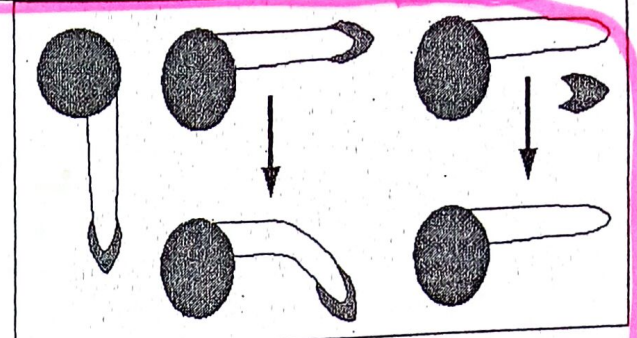
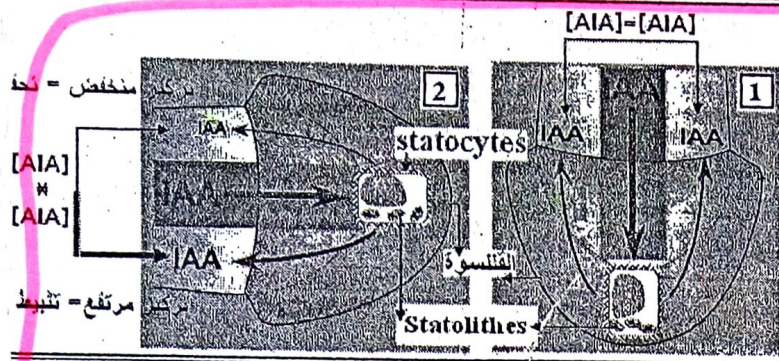
Figure 20-27 A Brief Outline of Biology, 1/e
© 2007 Pearson Education, Inc.



Legend
hatched area = buildup of auxin



- ① تثبيت الأوكسين على مستقبله الغشائي يطلق سلسلة من التفاعلات داخل خلوية
- ② تدفق البروتونات نحو الجدار يحدث ارتخاء فيه نتيجة تفكك الروابط بين مكوناته (سيللوز/هيميسيللوز)
- ③ دخول الماء في اتجاه الفجوة فيحدث انتفاخا فيها
- ④ ارتفاع الضغط الانتفاخي يدفع الجدران مما يقود إلى زيادة حجم الخلية
- ⑤ تحفيز الاستتساخ لبعض المورثات خاصة تلك المساهمة في بناء مكونات الجدار
- ⑥ إنتاج جزيئات جدارية جديدة والتي تعد ضرورية أثناء الزيادة في حجم الخلية



Perception et transduction du stimulus gravitropique

وضع الجذر أفقيا

الدراسة واستقبال التحفيز الجاذبي

حبيبات النشا تحت تأثير الجاذبية تتدحرج نحو الجدار الأفقي كما في الصورة رقم 3

la racine est placée à l'horizontale

gravité

Statocyte maintenant placé à l'horizontale

Perception et transduction du stimulus gravitropique

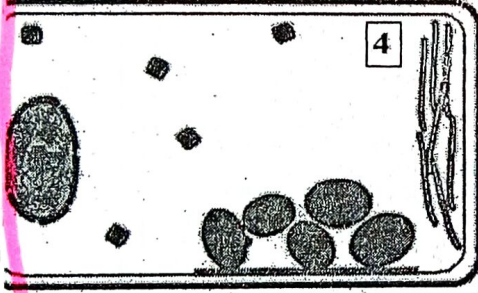
الدراسة واستقبال التحفيز الجاذبي

الجذر في وضعه الطبيعي

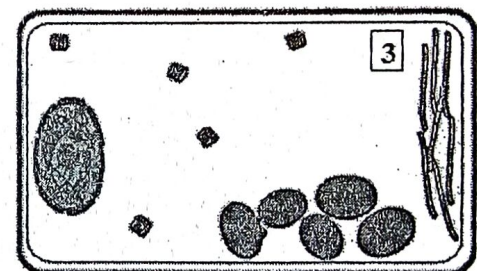
تكبير لخلية من القلنسوة المحتوية على حبيبات نشا مميزة

paroi
membrane
noyau
cytoplasme
mitochondrie
amyloplaste
réticulum endoplasmique

Statocyte
(cellule perceptrice de la gravité, située au centre de la coiffe racinaire)



تضغط حبيبات النشا على الجهة السفلية للغشاء البلازمي مسببة انفتاح قنوات النقل الغشائي.



هناك فرضيتان لفتح القنوات الغشائية تحت تأثير ثقالة حبيبات النشا المميزة: الأولى [5] تحدث حبيبات النشا قوة ضغط على بروتينات القناة فتقود إلى انفتاحها؛ الثانية [6] تؤثر على خيوط الأكتين التي تكون جذورها مرساة في البروتينات الغشائية فتجذبها تحت الضغط فتؤدي إلى انفتاح القناة.

الفرضية الثانية:

تؤثر حبيبات النشا على كميون الأكتين التي الهيكل الخلوي تؤثر بدورها على بروتينات القنوات.

flux de molécules

gravité

Première hypothèse : pression des statolithes

لا علاقة لهذا الحجم بالواقع ولكن ذلك من باب التوضيح

En chutant sur la membrane plasmique, l'amyloplaste appuie sur une protéine, ce qui a pour effet d'ouvrir un canal membranaire l'éirement-dépendant.

flux de molécules

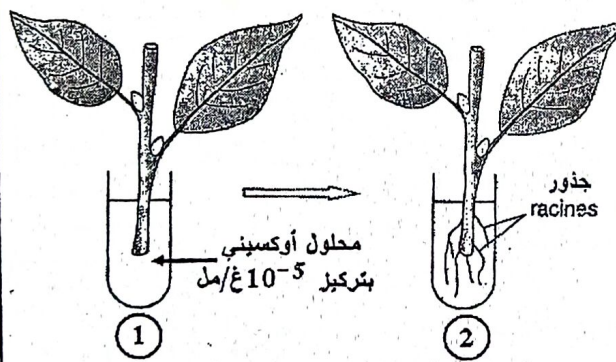
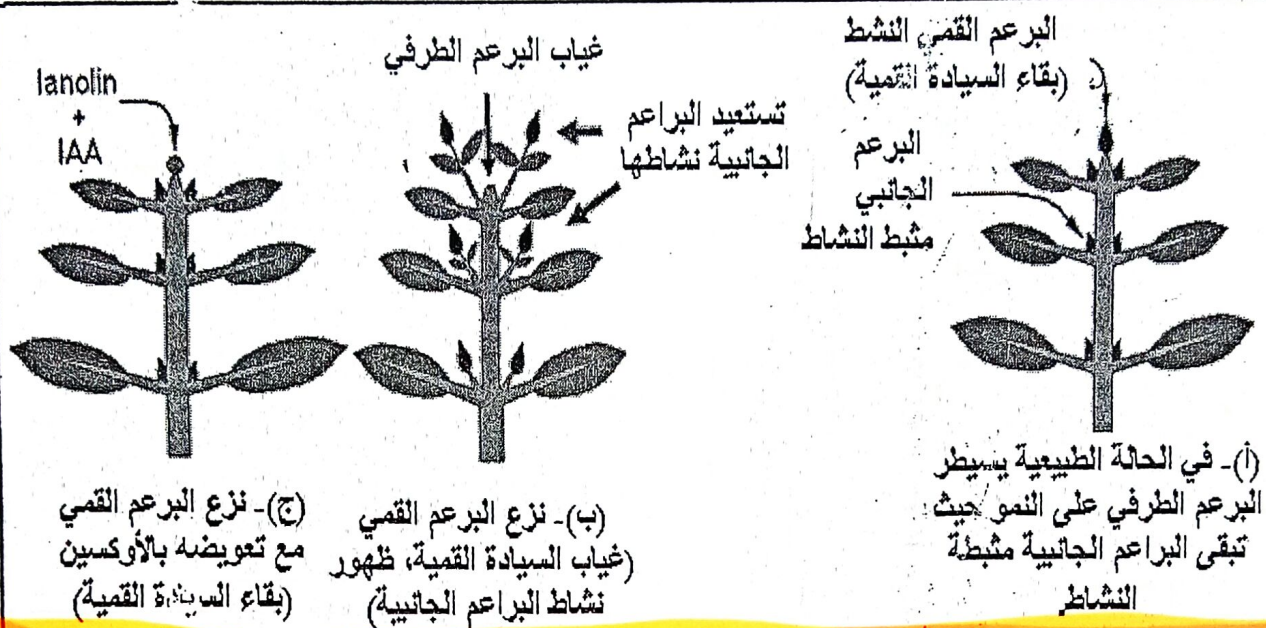
سألني أحد الطلبة السؤال التالي: لقد لاحظنا في تجارب نقل الأوكسين داخل السويقة الجينية تحت فلقية أنه ينتقل قطبيا لوجود النواقل في الخلية جهة القطب القاعدي فقط، لكن في تجارب الانتحاء الأرضي نلاحظ انتقال الأوكسين من القلنسوة نحو منطقة الاستطالة أي بشكل غير قطبي؛ كيف تفسرون ذلك؟ الجواب:

يتم نقل الأوكسين عبر النبات بواسطة نظامين:

النقل غير المستقطب السريع (5-10 سم/ساعة) الذي يوفره نظام الأوعية؛

والنقل المستقطب البطيء للخلية من خلية إلى أخرى (5-10 سم/ساعة) (Friml and Palme, 2002). يضمن النقل غير المستقطب في الأساس نقل الأوكسين لمسافات طويلة. في المقابل، يلعب نقل الأوكسين المستقطب دورًا مهمًا في آليات النمو عن طريق السماح بإنشاء تدرجات في تركيز الأوكسين (Friml, 2003). يتم توفير هذا النقل بواسطة ناقلات الأغشية من نوعين: ناقلات التدفق نحو الداخل (T. influx)، وناقلات التدفق نحو الخارج (T. efflux) (Blakeslee et al. 2005 & Kramer and Bennett, 2006).

التأثير على السيادة القمية : Action sur la dominance apicale



الافتصال Le bouturage: الافتصال من ضمن أساسيات استعمال أوكسينات (AIA، AIB و ANA). نجد هذه المركبات على أشكال مختلفة: سائلة أو صلبة، مفردة أو مخلوطة مع بعضها البعض أو مع مبيدات الفطريات. فهي تسهل عملية تجذر الفسائل بمعاملة موضعية لقاعدة الفسيلة.

Auxine et caulogénèse

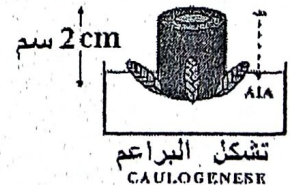
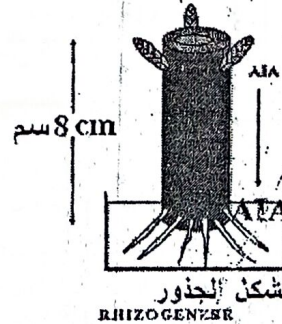
Stroughton & Plant, 1940

Crambe maritima

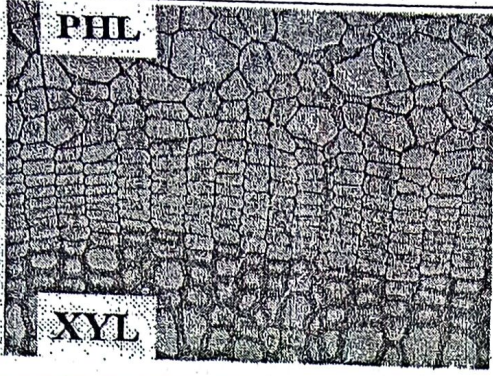
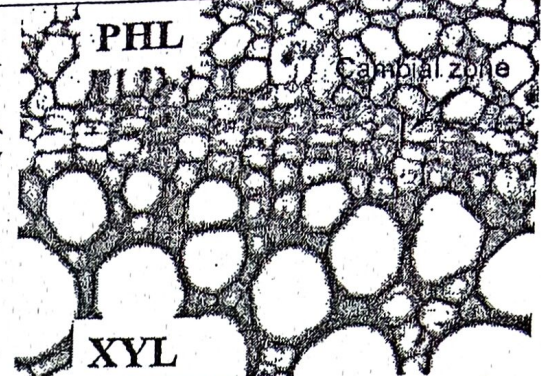
تجارب على الكرب البحري

قطع من الساق بأطوال متغيرة : Segments de souche de longueur variable :

تشكل البراعم & CAULOGÉNÈSE



التأثير التحفيزي لأوكسين AIA على النشاط الكيميو action cambio-stimulante de l'AIA

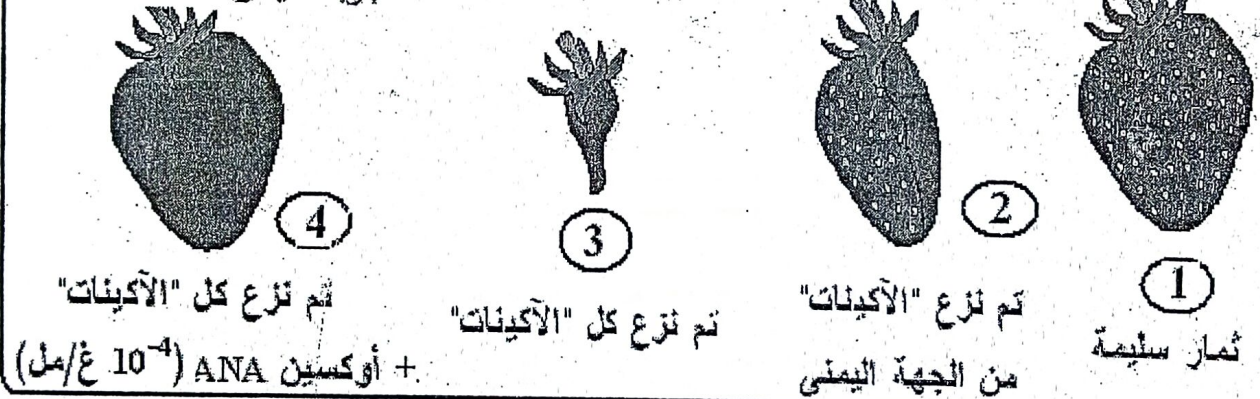
+AIA	التجربة + AIA [10 ⁻⁵ غ/مل]	-AIA	الشاهد
8 صفوف خلوية		3 صفوف خلوية	

التأثير على تطور الثمار Action sur le développement des fruits

يساهم الأوكسين في تطور الغلاف الثمري للثمار العسيرية. يفرز المبيض بعد التأيير بكميات كبيرة ويحث على نمو أنسجة الغلاف الثمري. يمكننا تعويض التأيير بتطبيقات أوكسينية للحصول على ثمار بدون إخصاب.

*- تجربة "نيتش 1950" Expérience de Nitsch: لدى ثمار الفراولة فإن الثمار الفقيرة "akènes"، هي التي تفرز الأوكسين، والتي تكون مسؤولة عن تضخم قاعدة الشمراخ أو التخت الزهري "pédoncule" والتي تتطور إلى ثمار كاذبة "faux-fruit". إن نزع "akènes" يمنع نموها إلى ثمار، بينما الرش الخارجي للأوكسين يسمح بإعادة نموها، كما هو موضح في الشكل السفلي الحالة (4).

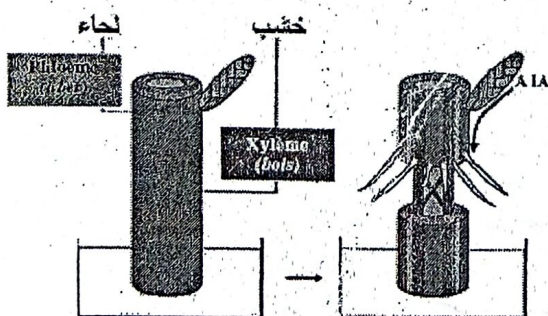
تجربة "نيتش 1950" Nitsch



الشكل المجاور: تجربة "نيتش 1950" Expérience de Nitsch

الأوكسين وتشكل الجذور Auxine et rhizogenèse

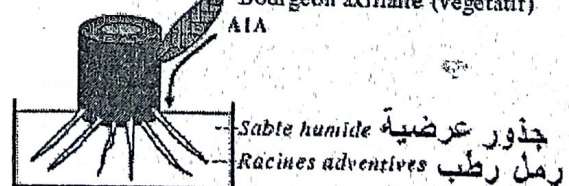
② Décorication annulaire الكشط الحلقي



الأوكسين وتشكل الجذور Auxine et rhizogenèse

إقتسال العنب (Vitis vinifera) bouturage de la vigne

برعم إبطي (خضري)
Bourgeon axillaire (végétatif)

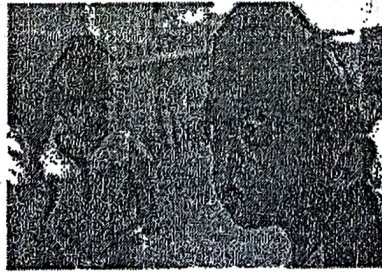
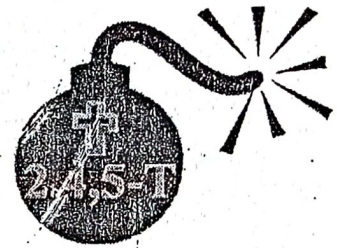
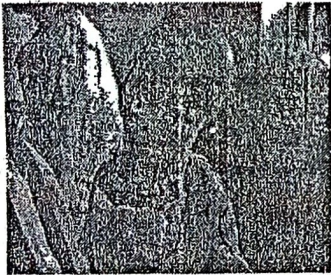


التأثير المبيد للأعشاب Action herbicide : لا يتم هدم المركبات الأوكسينية الاصطناعية بواسطة إنزيمات الأكسدة (oxydases) داخل النبات، فيؤدي ذلك إلى تراكمها إلى غاية الجرعات المميتة، لذلك يمكن استعمالها بتركيزات عالية كمبيدات للحشائش (herbicides)؛ بالإضافة إلى أن تأثيراتها تكون نوعية، لأن كل نبات ذو تأثير مختلف وفق مرحلة تشكله. وأخيرا لا يبدي إلا قليلا من الومضام (rémanence) في التربة، لأن الكائنات الدقيقة تعمل على تحليلها. خاصية تتميز بها بعض المركبات التي يستمر تأثيرها برهة من الزمن بعد زوال المركب الباعث.

مثال- ثلاثي كلوروفينوكسي خليك=2,4,5-T، أو العنصر البرتقالي، المستعمل كسلاح كيميائي ضد الفيتنام:

العنصر أو العامل البرتقالي Agent Orange : هو الاسم الحركي لمبيد أعشاب ونازع ورق الشجر والذي كان يستخدمها الجيش الأمريكي أثناء حرب فيتنام كجزء من برنامج الحرب السامة عام 1961 - 1971. بلغ عدد القتلى أو المشوهين 400,000 بحسب تقديرات الفيتناميين، إضافة إلى 500,000 من الأطفال الذين ولدوا بعيوب خلقية. 2,4,5 ثلاثي كلوروفينوكسي حمض الخليك - 2,4 ثنائي كلوروفينوكسي حمض الخليك، خليط كيميائي بنسبة 50:50 تم تصنيعه لصالح وزارة الدفاع الأمريكية، بواسطة شركة مونسانتو وشركة داو كيميكال؛ وكان يستخدم بتركيز 50 كغ/هكتار، وبموافقة الرئيس الأمريكي جون كينيدي.

يعتبر هذا العامل من مسببات ظهور مرض باركنسون وأحد عوامل الخطر لمتلازمة خَلْلُ النَّسْجِ النُّخَاعِي Myelodysplastic Syndrome.



انتهى الجزء المتعلق بالسداسي الأول، بالتوفيق لكل من جد واجتهد؛ مع تحيات الأستاذ مسعود بوجنيبة.

ثانيا: السيتوكينين Cytokinine

المحتويات:

1- تعريف؛ 2- لمحة تاريخية؛ 3- البناء الحيوي؛ 4- التأثيرات؛ 5- قائمة السيتوكينينات المعروفة.

1- تعريف:

السيتوكينينات "cytokinines" عبارة عن مركبات قريبة الشبه من القواعد البيورينية "bases puriques"، (أدينين استبدالية (adénine substituée). إنها عبارة عن هرمونات نباتية ضرورية لنمو النبات مثلها مثل الأوكسين، ولها دور الهرمون لدى الحيوانات.

2- لمحة تاريخية Bref historique:

في سنة 1902 يصرح العالم الألماني " فوئلاب هابرلاند "Gottlieb Haberlandt" عن مفهوم القدرة الذاتية للخلية "totipotence"، تكون الخلايا النباتية المتميزة قادرة على فقد التمايز "dédifférencier" ثم تتمايز (بواسطة وظيفة أخرى أولا).

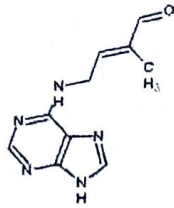
في عام 1941 أثبت الباحث "فان أوفريك ومساعديه "Van Overbeck & al" وجود مركبات بصورة طبيعة غير معروفة "آنذاك" تشجع الانقسام الخلوي عند تعرضهم لدراسة أجنة نبات البنج "الدتوراه "Datura الحديثة السن والنامية في مزرعة نسيجية. اثبت نفس الباحث أن هناك مواد موجودة في لبن جوز الهند "Cocus nucifera" الطازج وغير المعقم، لها القدرة على تنبيه انقسام الخلايا وتمايزها في جنين نبات البنج الحديث السن، والذي لا يقوم ببناء عوامل النمو هذه.

د تمكن "ميلر ومعاونه "Miller & al. 1956" من عزل وتنقية مركب بيوريني على صورة بلورية من تحلل الـ "DNA" للسّمك" ذي التركيب الكيميائي "6-فيرفيريل أمينو بيورين amino purine 6-Furfuryl" وأطلقوا عليه اسم "الكينتين kinéine"، لأنه يسبب تشجيع انقسام خلايا التبغ في مزارع الأنسجة.

لقد اقترح منذ اكتشاف الكينتين مصطلح "الكينينات Kinins"، كاسم عام للمواد المشابهة للكينتين، ولقد اقترح لاحقا "سكوك "Skoog & al" مصطلح "السيتوكينينات Cytokinins" للتمييز بين الهرمونات النباتية والكينينات الحيوانية "animals kinins" وذلك لاحتمال وجود هذا النوع من الهرمونات بصورة طبيعية في النبات، كنتاج تحلي من تحولات الـ "DNA" في النبات.

وفي نفس الفترة حصل الباحث "ليثام Letham" على مركب في شكل بلوري سماه "زياتين Zeatin" (مشتق من اسم جنس نبات الذرة الصفراء Zea mays)، له نفس مكونات مادة الباحث "ميلر Miller" والذي هو

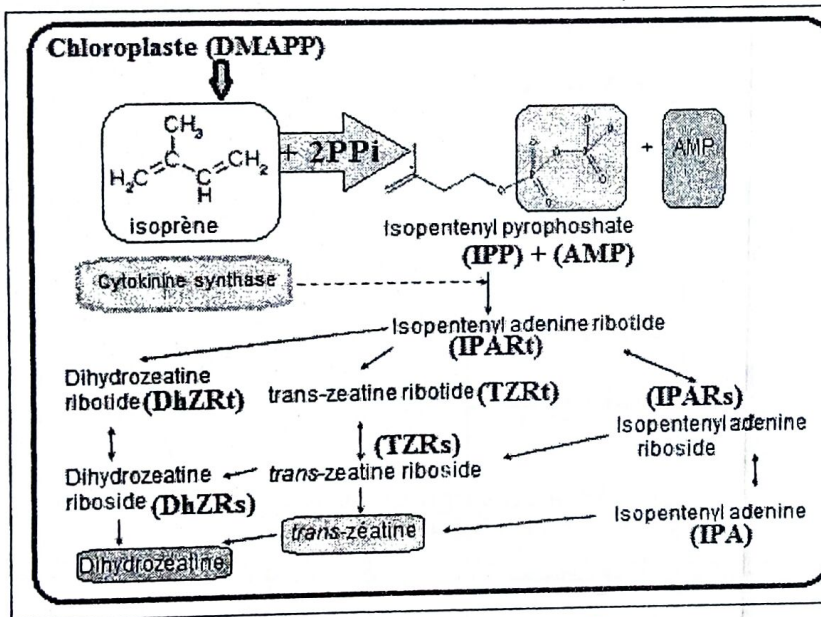
عبارة عن [6-(4-هيدروكسي-3-مethyl-ترانس-2-بتنيل أمينو)بيورين]، والذي يوجد بصورة طبيعية في النبات. وتوجد "الزياتين" بكمية كبيرة في الحبوب أثناء طور نضجها اللبني، كما توجد بكميات أقل في الجذور، السيقان، الأوراق الفتية والثمار النامية.



مع العلم أن اكتشاف السييتوكينينات تم في الأربعينيات. ففي سنة 1941 تم إنتاج الكالوسات "cals" (مدمج من الخلايا غير المتميزة) في الظروف المخبرية "in-vitro" في وجود حليب الكاكاو داخل المزارع أو المستنبتات، وبعد 30 سنة تم التعرف على هرمون الزياتين "zéatine". وفي سنة 1956 تم عزل الكينيتين "kinétine" من "ADN" السمك.

3- البناء الحيوي "Biosynthèse"

يتم تمثيلها على مستوى القمم النامية للجذور. تمثل السييتوكينينات فصيلة من الجزيئات تجمعها التأثيرات المتشابهة. وكلها تتكون من أدينين واحدة، ويكمن الاختلاف في السلسلة الجانبية (في الوضعية en position 6). يتبع البناء الحيوي للزياتين المخطط التالي: **أدينوزين أحادي الفوسفات (الحلقتين) + دلتا-2-إزوبنتينيل بيروفوسفات (السلسلة الجانبية)** -> إزوبنتينيل أدينين ريبوتيد (بفضل إنزيم Cytokinins synthase). يتابع إزوبنتينيل أدينين ريبوتيد "Isopentenyl adenine ribotide" بعض التحولات للوصول بسرعة إلى حالة نضج الزياتين، (انظر مخطط البناء الحيوي).

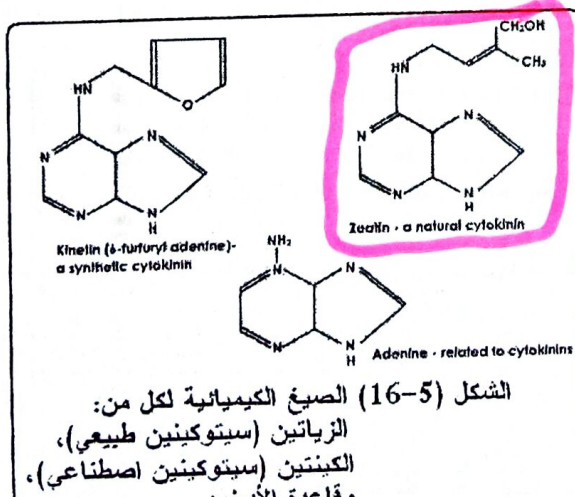


الشكل (5-15): طرق البناء الحيوي للسييتوكينينات لدى النبات. تبدأ أول مرحلة من البناء الحيوي للسييتوكينين بإضافة إزوبنتينيل إلى الـ "DMAPP" مضاف إليها نصف من الأدينوزين (AMP أو ADP أو ATP). يختلف إنزيم الـ IPT لمادة تفاعل الأدينوزين عند كل من البكتيريا والنبات، ف لدى النبات يتم استعمال إما ADP أو ATP، بينما البكتيريا تستعمل AMP.

التأثيرات:

لها خصائص تنشط لانقسام الخلوي، كما تساهم أيضا في النمو والتمايز الخلوي، ومن بين العديد من التأثيرات الأخرى نذكر:

- تنشيط إنتاج اليخضور



- تنشيط انبساط أو تفتح الأوراق
- تساعد على النمو الخلوي
- تساعد على تشكل البراعم الفتية
- تساعد على تفريغ المركبات السكرية بواسطة اللحاء.
- تؤخر شيخوخة الأوراق (عكس تجارب نزع الجذور).
- عند استعمالها مقترنة مع الأوكسين، تنشيط الانقسام الخلوي (الأوكسين يساعد على تضاعف "الدنا ADN"؛ السييتوكينينات تسمح بانفصال الصبغيات)
- تساهم في عمليات التشكل
- تساعد على فتح الثغور
- تثبط البناء الضوئي للنباتات رباعية الكربون "plantes en C4"
- تحت أيض الخلايا في البراعم الفتية (والتي لا تعد في مستويات الأيض القصوى) كاستجابة لارتفاع الماء والمواد المعدنية الجاهزة.

أئمة السييتوكينينات المعروفة:

- السييتوكينينات المصنعة
- البنزيل أدنينين أو بنزيل أمينو بيورين
- "BAP"
- الكينيتين "kinétine"
- السييتوكينينات الطبيعية
- الزيانتين (الأكثر انتشارا في المملكة

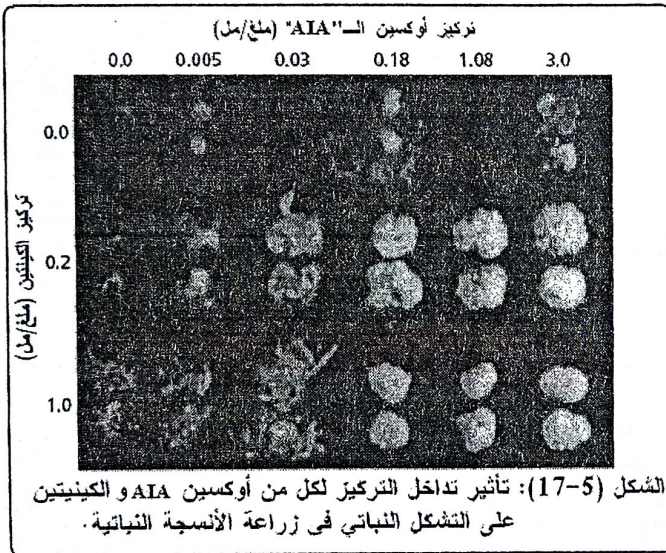
(النباتية)

إيزوبنتيل أدنينين "IPAsopentényladénine"؛ الشكل (5-16).

كـ عند استعمالها مقرونة مع الأوكسين تؤثر بشدة في عملية التشكل النباتي في زراعة الأنسجة النباتية ضمن الظروف المخبرية "In-vitro" الشكل (5-17).

نقل السييتوكينينات:

يتم البناء الحيوي للسييتوكينينات في المرستيمات الجذرية، ويتم النقل عبر الخشب إلى الأجزاء الهوائية. يبقى السؤال المطروح، هل يتم بالنقل النشط أم عبر التدفق النتحى؟



يمكن للإجهاد المائي أو الملحي أن يخفّضاً من محتويات السيٲوكينينات داخل النبات. هيئة نقل هذا الهرمون هي الزيٲاتين ريبوزيد zéatine riboside. عندما تصل إلى داخل الأوراق، تتحول الزيٲاتين ريبوزيد إلى زيٲاتين. إن التحول في الأجزاء الهوائية إلى مختلف هيئات السيٲوكينينات فيما بينها يتم بسرعة كبيرة؛ تكون هيئات السيٲوكينينات الحرة هي النشطة هرمونياً. تأثيرات أخرى:

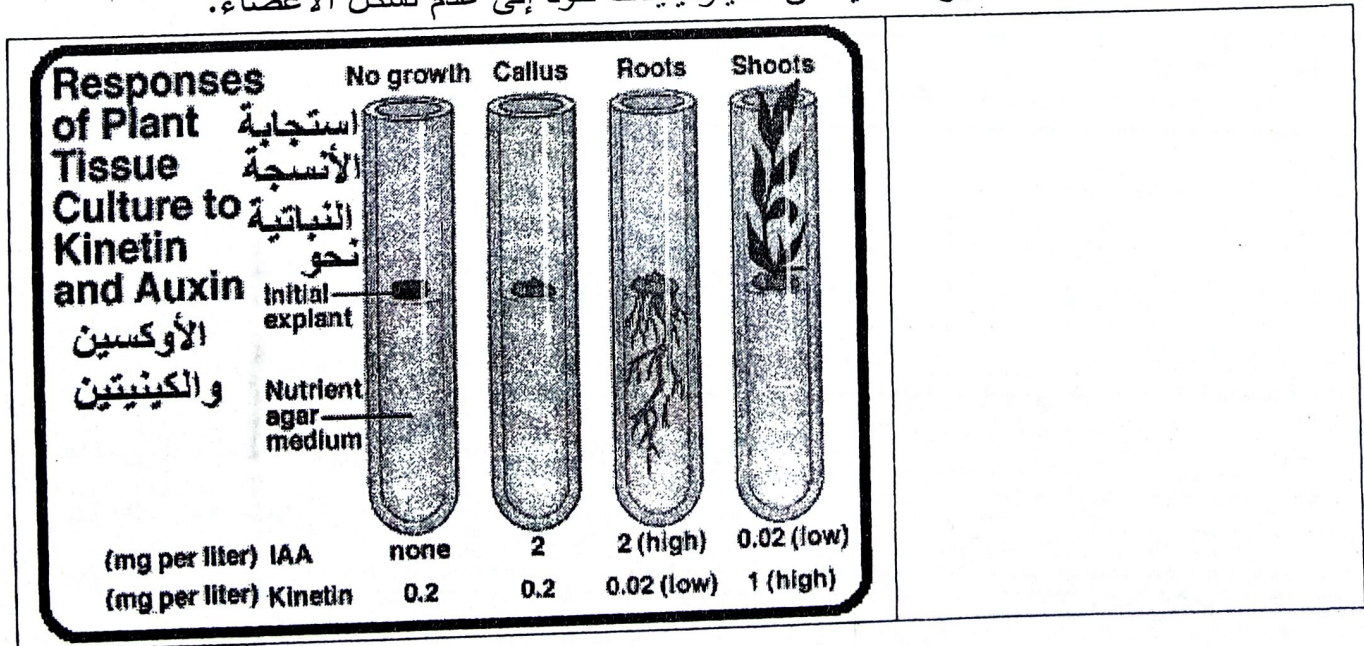
انقسام الخلايا: تؤدي إضافة السيٲوكينينات إلى تكاثر خلايا نخاع ساق التبغ. ومع ذلك، توجد هناك متطلبات مختلفة بين النباتات فمثلاً:

- يتطلب نخاع ساق التبغ كل من AIA والسيٲوكينينات.
- يتضاعف الغلّيق الشجيري (*Rubus fruticosus*) بدون الـ AIA أو السيٲوكينينات.
- يحتاج خرشوف القدس (*Helianthus tuberosus*) إلى الـ AIA فقط.
- بينما يحتاج الكرنب الفجلّي (*Brassica oleracea L. var. gongylodes*) إلى السيٲوكينينات فقط.

❖ إذن تكون الـ AIA والسيٲوكينينات مكملّة وتتوقف الجرعات المضافة بدرجة كبيرة على المستويات الذاتية داخل النباتات.

تمايز الخلايا: يمكن أن تصبح خلايا نخاع التبغ خضراء بسبب إضافة السيٲوكينينات. لا غنى عنها في ظواهر تشكل طلائع الصانعات، وكذلك تطور خلايا الكامبيوم إلى عناصر الخشب. تشكل الأعضاء: دور مهم في تشكيل البراعم. لقد وجد في نسيج نخاع التبغ:

- الـ AIA + جرعة ضعيفة من السيٲوكينينات تقود إلى تشكل الجذور.
- الـ AIA + جرعة متوسطة من السيٲوكينينات تقود إلى تشكل البراعم.
- الـ AIA + جرعة عالية من السيٲوكينينات تقود إلى عدم تشكل الأعضاء.

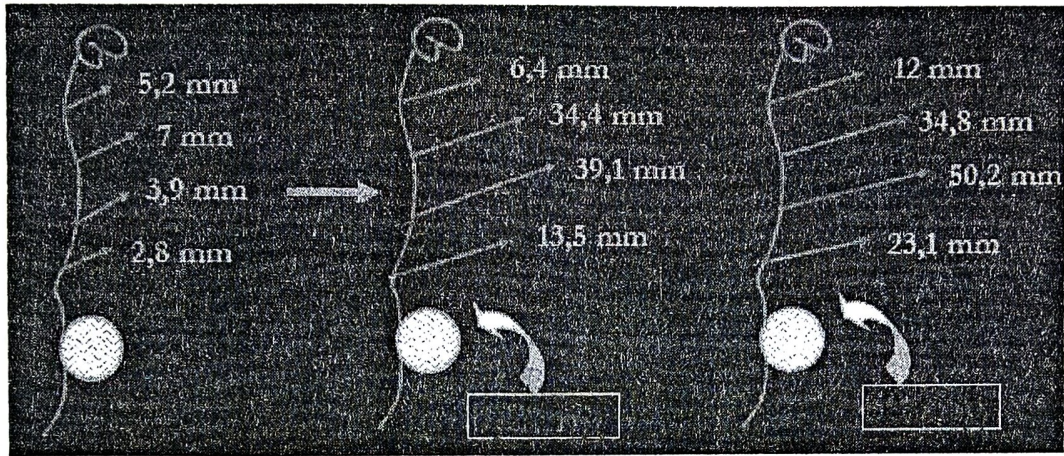


❖ رفع السبات: فمثلا: قد تنبت بذور الخس المنقوع في السييتوكينينات، في حين أنها نبتت فقط بعد التعرض للأشعة فوق البنفسجية.

❖ تطوير الأعضاء الزهرية: لقد ثبت أن السييتوكينينات لها تأثير تأنيثي. يمكن أن تحل في بعض الأحيان محل الجبرلين لتسريع إزهار النباتات ثنائية الحول. هناك أيضا مساهمة من هذه الهرمونات في تشكيل الثمار.

❖ رفع تثبيط رفع السبات: لقد لوحظ أن استخدام السييتوكينينات في شتلات الحمص يمكن أن يرفع السيادة القمية للبرعم الطرفي على البراعم الأخرى، ويكون هذا أكثر أهمية كلما كانت المنطقة عالية.

معاملة السييتوكينينات على براعم الحمص:



نلاحظ أن هناك زيادة في طول البراعم؛ وبالتالي هناك رفع للسيادة القمية.

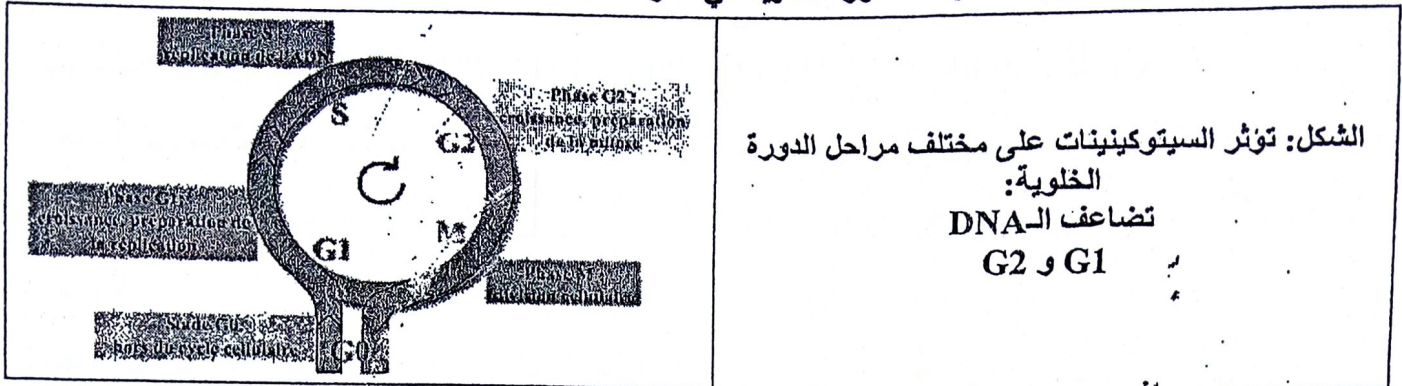
❖ التأثيرات على استقلال النبات: لقد وجد أن استخدام السييتوكينين على الأوراق المفصولة يؤخر ظاهرة الشيخوخة (الاصفرار). أظهر ريشموند Richmond في عام 1957 أن المعاملة بهذا الهرمون تؤخر شيخوخة الأوراق المعالجة ولكنه يسرع من شيخوخة الأوراق المجاورة غير المعالجة. وفي الواقع، فقد أثبتت أبحاث Mothes حول أوراق التبغ أن السييتوكينينات تؤخر تحلل البروتينات، ولكنها تحفز أيضًا بنائها. وأظهرت تجارب Penot باستخدام المنتجات المشعة أن السييتوكينينات تحرف نقل مواد الأيض، وهو ما يفسر إصفرار الأوراق غير المعالجة.

<p>Expérience de PENOT</p> <p>application de cytokinines sur un côté.</p>	<p>الشكل: تجربة بينو على أوراق التبغ المفصولة:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. يوضع حمض أميني مشع في أعلى النصل. 2. يرش الطرف السفلي للجهة المقابلة بالسييتوكينين. 3. بعد فترة يهاجر الحمض الأميني المشع نحو الطرف المعامل بالسييتوكينين. <p>إذن السييتوكينينات تجلب مواد الأيض نحوها.</p>
---	---

التأثيرات البيولوجية Les effets biologiques:

1. مراقبة الدورة الخلوية Le contrôle du cycle cellulaire:

مراقبة لإنزيمات خاصة مثل «cyclin-dependent kinases» التي تقود إلى انشيط مجموعة الكيناز بواسطة الفسفرة. في غياب السيتوكينينات تتوقف الدورة الخلوية في المرحلة G2.



2- نضج الصانعات الخضراء:

- إن المعاملة الخارجية بالسيتوكينينات تسمح باخضرار الأنسجة الشاحبة والمحفوظة في الظلام.
- بناء طلائع اليخضور واليخضور
- التعبير المورثي للمورثات المشفرة لإنزيمات البناء الضوئي
- الطفرات المعوزة في السيتوكينينات تصبح غير حساسة للضوء.

3- دورها في شيخوخة الأوراق:

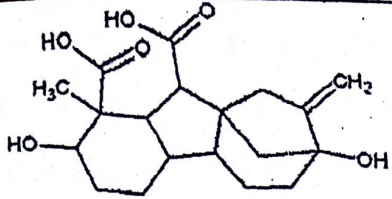
- نزرع جذور نباتات باستمرار فنعمل على شيخوخة مبكرة لأوراقه
- يمكن أن تكون الشيخوخة مبرمجة أو محدثة: اضطرابات في الأغشية اختزال في الصبغات حالات الاجهاد التأكسدي.

- معاملة خارجية على الأوراق تؤخر الشيخوخة.

مستقبلات السيتوكينينات: يوجد نوعان:

- الأول يرمز له اختصاراً بـ CK1I وهو عبارة عن بروتين غشائي بـ 125 كيلودالتون ميدانه هستيدين كسناز.
- الثاني يرمز له اختصاراً بـ CRE1: (يختلف عن الأول في تشكيلة أحماضه الأمينية)؛ ويختص هذا الأخير في تثبيت الهرمون من الناحية الخارجية، بينما الأول يقوم بالتثبيت من الناحية الداخلية.
- عملية تثبيت الهرمون على المستقبل تحدث تغيرات في هذا المعقد تقود في النهاية إلى التأثير على مستوى مورثات النواة وذلك بحث بعضها وتثبيط البعض الآخر حسب حاجة الخلية الهدف والنسيج المنتمية إليه.

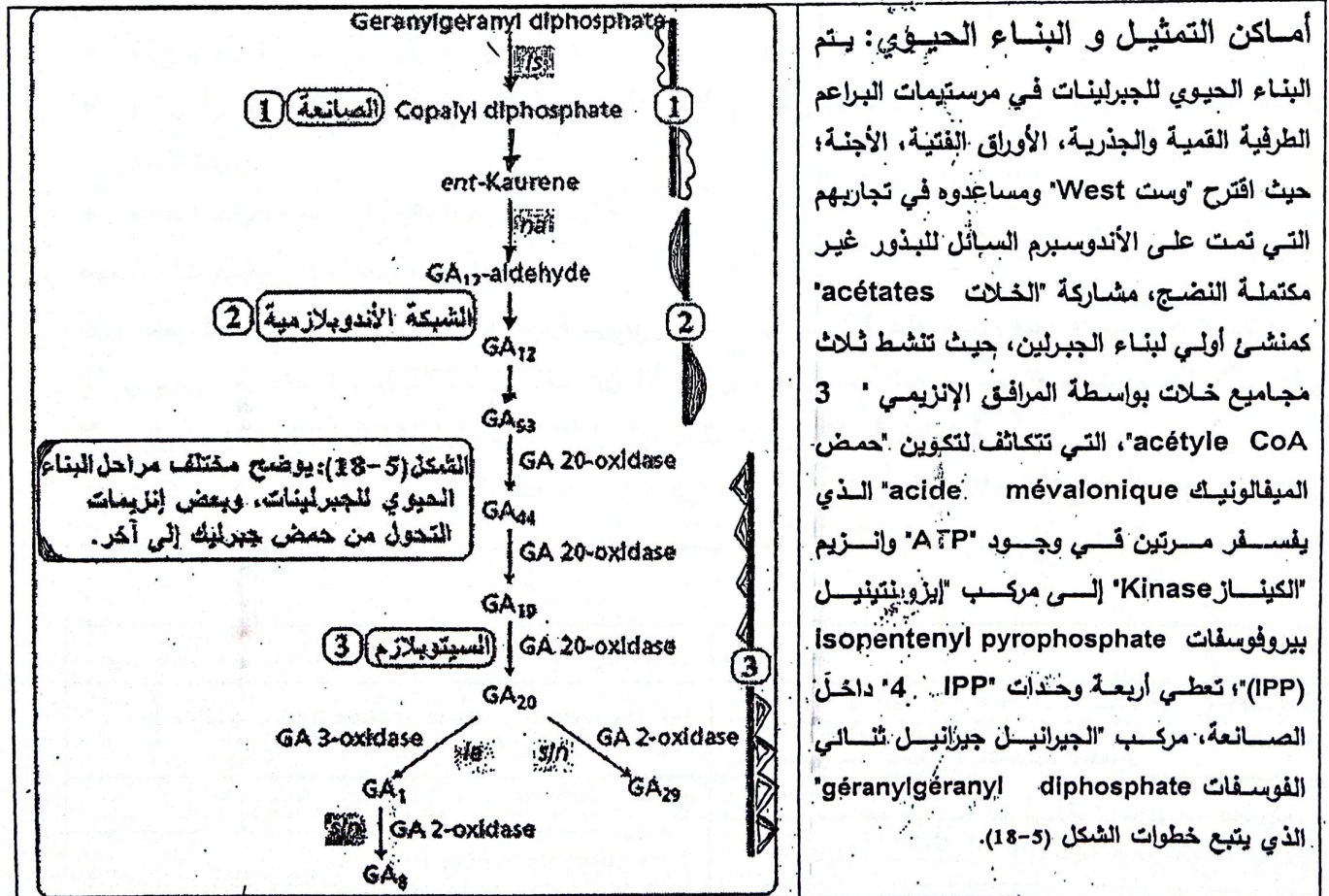
مميزاتها:	السيتوكينينات المقرونة Conjugaison des cytokinines:
متواجدة طبيعياً في النباتات، بعضها يكون بكثرة في بذور الرز النامية، تمثل نوع من الاحتياط ذات تفاعلات عكسية تحت تأثير glycosidases، فتعطي السيتوكينينات الحرة.	1- Glycosylation sur le groupe hydroxyle de la chaîne latérale, O-glycosylation
متواجدة طبيعياً في النباتات؛ غير نشطة؛ تفاعلاتها غير عكسية؛ يبدو أنها مقاومة للانحطاط الإنزيمي كما عندها بعض حشرات الرز.	2- N-Glycosylation en position 3, 7 et 9
	3- Conjugaison avec l'alanine
4- توجد أشكال أخرى عديدة. لاقتزان السيتوكينينات لا يسع المجال لذكرها مثل الاقتران مع المركبات العطرية	

	<p>GA452D</p> <p>جزئية الجبرلين الأكثر شيوعا أو انتشارا.</p>	<p>ثالثا: الجبرلينات</p> <p>Gibbérelline</p>
---	--	---

مصطلح الجبرلينات مشتق من الاسم العلمي لفطر "*Gibberella fujikuroi*" الذي يصيب بادرات الرز بعملقة في سلاميات الساق، وهو فصيلة من الهرمونات النباتية. ويرمز لها اختصارا "AG" نسبة إلى حمض الجبريليك، وتتميز فيما بينها بالترقيم من (1 إلى 110). وأكثرها استعمالا هو حمض الجبريليك 3 "GA3".

المحتويات: 1- لمحة تاريخية؛ 2- البنية وطرق البناء الحيوي؛ 3- أماكن التمثيل؛ 4- التأثيرات

لمحة تاريخية: لقد تم الكشف عنها لأول مرة من طرف عالم الأمراض النباتية "Kurosawa" في 1926 لدى فطر "*Gibberella fujikuroi*" (من الفطريات الزقية، الذي يتطفل على نبات الرز مسببا عملقة في سوقه). ما بين 1935 و 1938 لقد تم عزل وتنقية المادة المسببة للمرض. وفي عامي 54- 1955 تم التعرف على البنية الكيميائية لحمض الجبريليك 3 "GA3".



فسيولوجيا النبات، [المستوى كينيات والجبر لينات]، الأستاذ مسعود بوجنيبة المدرسة العليا للأساتذة، القبة، الجزائر 2018

تقارن عادة الجبرلينات في نشاطها الحيوي بالاكسينات، ويتشبهان في بعض التأثيرات، فمثلا يشجع كل منهما: استطالة

وتختلف الجبرلينات عن الأوكسينات، في أنها لا تنشط نمو الجذور، كما أن انتقالها لا يكون قطبيا.

◀ تنشيط الإزهار في بعض النباتات، وتسهيل إنتاج الأفرع
الزهرية وازهارها؛

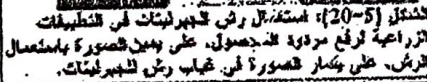
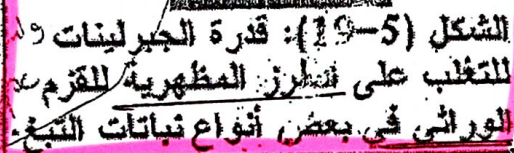
- إنضاج عقد الثمار وتكوين الثمار اللابذرية؛
- التثبيط الضوئي لنمو الساق؛

تساعد تحرك الكربوهيدرات المخزونة أثناء الانبات (انظر

إعاقَة شِيخوخَة الأوراق في بعض الأنواع النباتية؛

◀ لها القدرة للتغلب على الطرز المظهرية للقرم الوراثي في نباتات معينة، لاحظ الشكل (5-19).

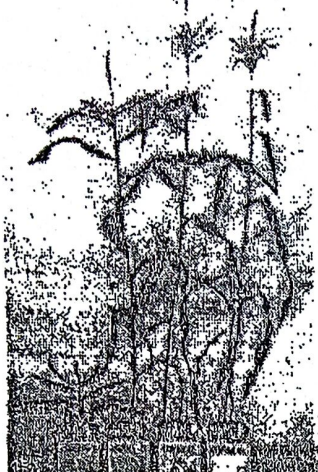
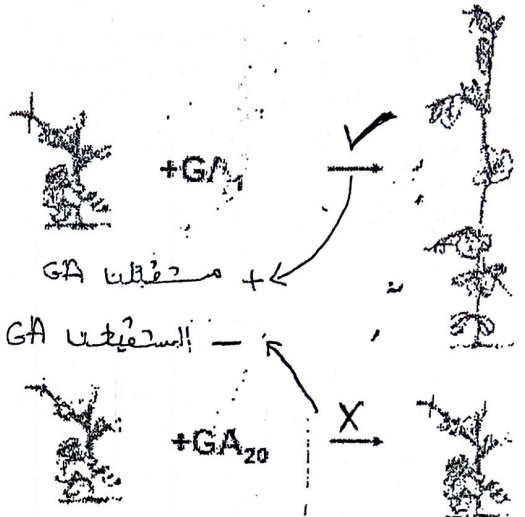
٥- تستغل الجبرلينات تجارياً، فمثلاً يستخدم كل من "GA3، GA4" وأحياناً "GA7"، لزيادة عدد حبات العنب في العنقود بواسطة الرش، لاحظ الشكل (5-20)، كما تستخدم الجبرلينات لزيادة كمية □- أميلاز في حبوب الشعير المستتبة، الموجهة لإنتاج المالت كما تستعمل في تكوين البراعم الزهرية وعقد الثمار في التفاح والإجاص وكذلك تحسين الحجم واللون والنوعية لثمار العديد من النباتات.



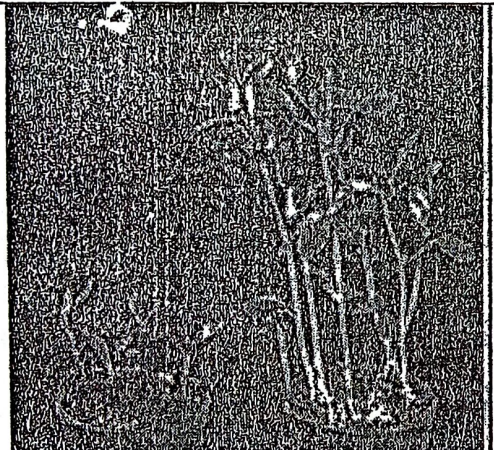
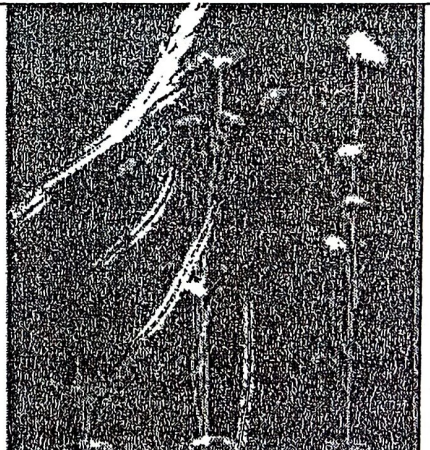
حركة الجبرلينات: أثبتت الدراسات أن حركة الجبرلين المستعمل خارجيا أو النشاط إشعاعيا في السيقان المفصولة أو قطع الأعناق الورقية أو قطع من غمد الريشة أن انتقال الجبرلين يكون في أغلبه غير قطبي "non polar"، ويتحرك في اللحاء تبعا لنمط جريان انتقال الكريوهيدرات والمواد العضوية الأخرى، كما يتحرك نسيج الخشب بسبب الحركة الجانبية بين النسيجين الوعائيين من خلال الخلايا البرانشيمية الشعاعية. (سقل عن ص ١٠)

٥- ثبت بالتجربة أن حقن الجبرلين للرز "*Oriza sativa*" أو لغيره من النباتات يسبب تحمس الأعضاء في طور النمو. وتؤثر الجبرلينات أساسا على خلايا السلاميات "*entrenœuds*" محدثة فيها تطاولا. كما تساهم في رفع سيات البذور وتفتح البراعم "*الارتباع yernalisation*"; وبالتالي فهي تعاكس تأثيرات حمض الأبسيسيك؛ إن المعاملات بالجبرلينات

يمكن أن تعوض ظروف النهار الطويل وتحدث الإزهار في النباتات أثناء الأيام القصيرة للشتاء؛ تختلف الجبرلينات عن الأوكسينات في أنها لا تثبط ولا تحفز نمو الجذور.

تأثير حمض جبرليك GA1 على الذرة القزمة	نبات البازلاء (الجلبانة) القزم يستجيب لحمض الجبرليك GA1 ولا تستجيب حمض الجبرليك GA20.
	

Les gibberellins sont-ils des régulateurs de croissance naturels? Est-ce que les plantes hautes ont plus d'AG que les plantes naines?

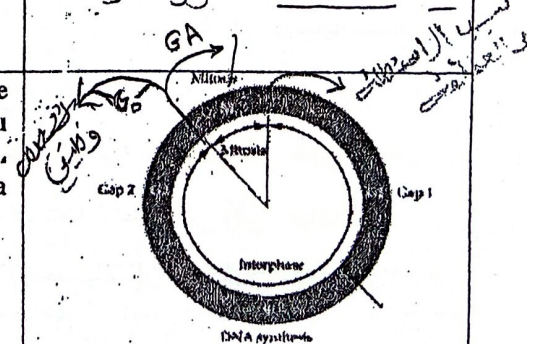
تأثير حمض الجبرليك GA3 على تطاول سيقان الجلبانة.	تأثير حمض الجبرليك GA على إزهار نبات الجذر.
	

حمض الجبرليك يرفع داخل الرز من التعبير المورثي لـ CDK و بروتيمكيناز قادرة على تنشيطه

GA augmente dans le riz l'expression d'un CDK et une protéine kinase capable de l'activer

Les kinases dépendantes des cyclines (CDK) sont une famille de protéines kinases qui jouent un rôle majeur dans la régulation du cycle cellulaire. Elles sont également impliquées dans la régulation de la transcription, le traitement des ARN messagers et la différenciation des cellules nerveuses. protéine histidine kinase (HK) peuvent agir comme des récepteurs cellulaires pour les molécules de signalisation d'une manière analogue aux récepteurs de la tyrosine kinase (RTK).

الجبرلينات تحفز الانتقال بين المرحلة G1 والمرحلة S في الدورة الخلوية



فسيولوجيا النبات، الفصل السادس [الهرمونات النباتية، ملخص الإثيلين وال-ABA]، الأستاذ م. بوجنية المدرسة العليا للأساتذة- القبة، 2018م

الإثيلين $\text{CH}_2=\text{CH}_2$ Éthylène

1- مقدمة:

الإثيلين عبارة عن مركب ينتمي للمركبات الكربوهيدروجينية الغازية، ذو بنية بسيطة $\text{CH}_2=\text{CH}_2$. مع العلم أنه يمكن أن يحدث تأثيرات حاسمة ومهمة في كل نمو وتطور مراحل حياة النبات.

2- البناء الحيوي (أنظر اللوحات).

3- الأدوار الفسيولوجية للإثيلين: له تأثيرات حاسمة ومهمة في كل نمو وتطور مراحل حياة النبات.

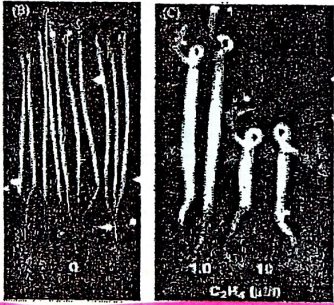
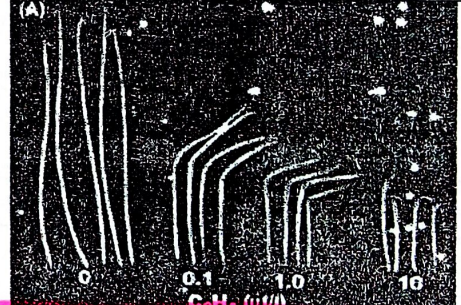
3-1. دوره في نمو النبات

☞ يحفز تطاول السيقان والأعناق الورقية والجذور ومكونات القطع الزهرية للنباتات المائية والبرمائية.

☞ يشجع بناء الجبرلينات، تأثير الإثيلين يكبح بمثبطات GA، لذلك فإن GA يعد وسيط لتأثير الإثيلين.

☞ وبالعكس لدى البسلة، يثبط الإثيلين تطاول السيقان والجذور، فهو متعلق "بالاستجابة ثلاثية المفعول".

« الاستجابة ثلاثية المفعول »

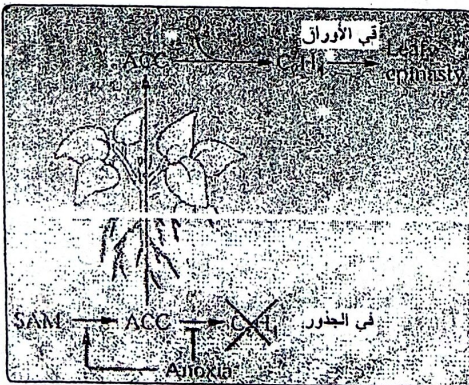
لدى البادرات الشاحبة للفاصوليا صنف "mungo" Plantules de haricot mungo étiolées	لدى البادرات الشاحبة للبسلة Plantules de pois étiolées
☞ - تثبيط تطاول الساق	☞ - تثبيط تطاول الساق
☞ - تغليب الساق	☞ - تغليب الساق
☞ - الاعتكاف العكازي لنمو القمة (Courbure de la crosse)	☞ - تبدل في الانتحاء الأرضي (تميل للنمو الجانبي).
	

3-2. دوره في الانحرافات السفلية (épinastie):

الانحرافات السفلية: تشوه في النمو يحدث بواسطة الاختلاف في سرعة النمو، بين جهتي العضو النباتي ذو التناظر الجانبي.

نقص الأكسجين ($\text{anoxic (-O}_2\text{)}$) <-- الحد من امتصاص الماء، تحفيز استنساخ مورثة ACC-synthase، في غياب الأكسجين لا يتحول ACC إلى إثيلين داخل الجذور، لكن داخل الأوراق أين يتم نقل ACC <-- انحراف سفلي للأوراق،

امتصاص قليل للضوء وبالتالي انخفاض للنتح والحد من فقدان الماء.



3-3. دوره في الشيخوخة (senescence):

(أ) - لدى الأوراق:

يحث الإثيلين على شيخوخة الأوراق لدى الأنواع البرية (WT)، لكن ليس لدى الطفرة *etr1* غير الحساسة للإثيلين. علما لأن الـ *ETR1* يشكل المستقبل للإثيلين.

(ب) - لدى الأزهار:

في العموم الإثيلين يؤخر الإزهار؛ لكن لدى الأناناس يحفز الإزهار، لذلك فإن المعالجة بمادة تطلق الإثيلين تقود إلى إطلاق إزهار متجانس.

(ج) - سقوط الأزهار والثمار: وذلك بتحفيز ظاهرة التقلن في مستوى القطع الزهرية أو المعالق.

4- العلاقة بين الأوكسين والإثيلين على سقوط الأوراق:



تعتمد هذه العلاقة على مرحلة نمو الورقة:

١- عندما تكون الأوراق فتية، في وجود كمية كبيرة من الأوكسين، تصبح منطقة الانفصام أقل حساسية للإثيلين.

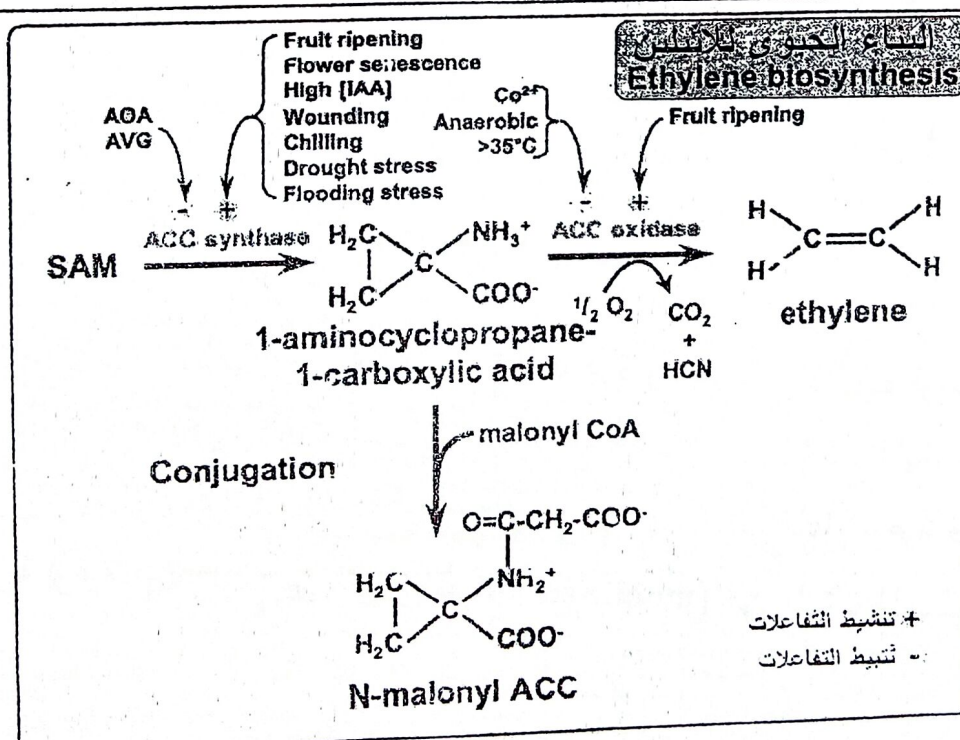
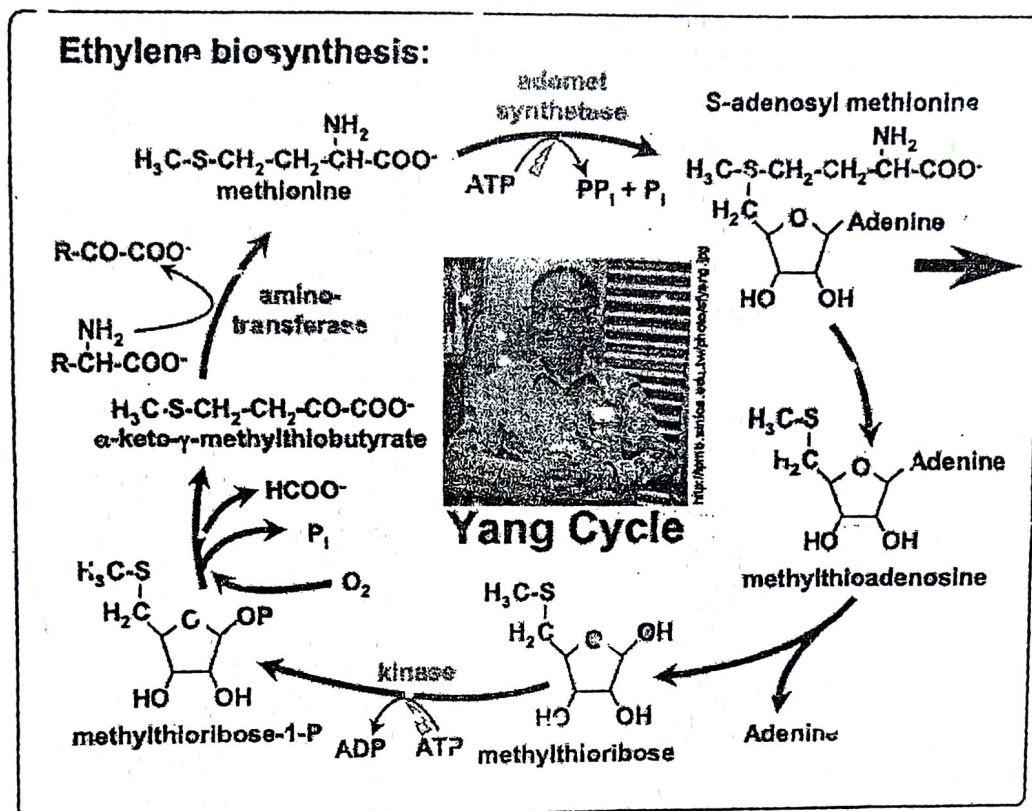
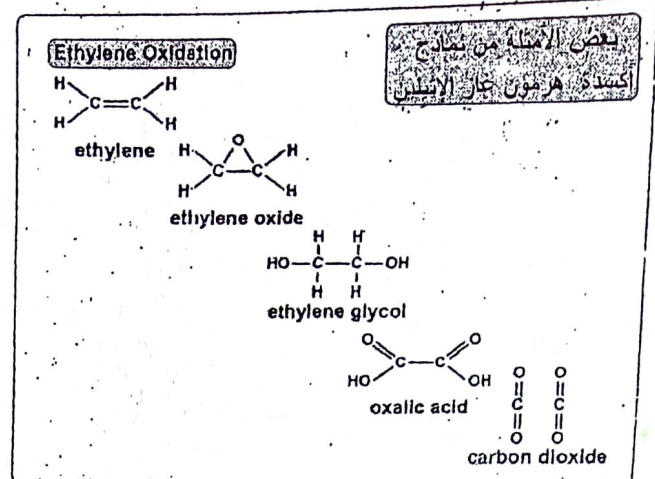
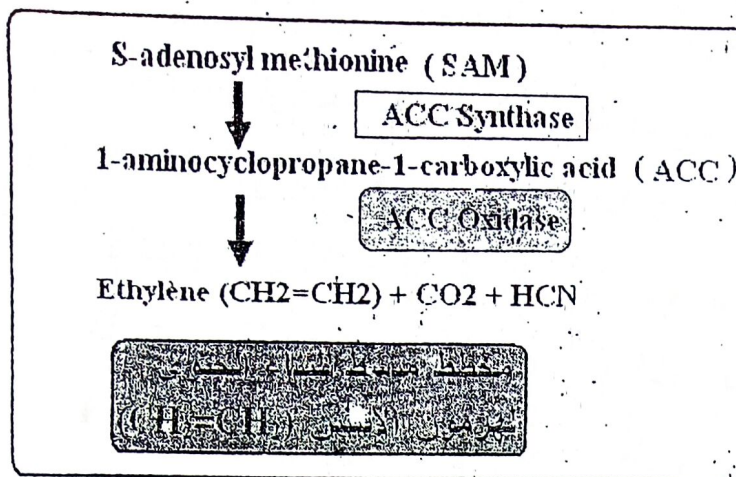
٢- عندما تكون الأوراق مسنة، انخفاض في كمية الأوكسين، فلو نضيف الأوكسين، يحدث تحفيز لبناء الإثيلين مما ينجم عنه نشاط لظاهرة السقوط، فتصبح منطقة الانفصام أكثر حساسية للإثيلين.

5- وسيلة من وسائل علم التقانات الحيوية *Antisens ACC synthase*: Outil biotechnologique

العلاقة النسبية المباشرة بين معدل تثبيط إنتاج الإثيلين ومدة تأخير نضج الثمار. ففي الأنماط الطبيعية يحدث تلف لجميع الثمار بعد مرور ثلاثة أسابيع من النضج، لكن باستعمال تقنية (*Antisens ACC synthase*)، كما في حالة النوع 4-1345، المحور وراثيا (OGM)، يلاحظ بقاء الثمار سليمة بعد هذه المدة، وذلك بسبب انخفاض في إنتاج الإثيلين بنسبة 98 %. كما يمكن استعمال إستراتيجية (*Stratégie antisens*) لتأخير شيخوخة الأزهار والرفع من مدة حياة الأزهار المقطوعة.

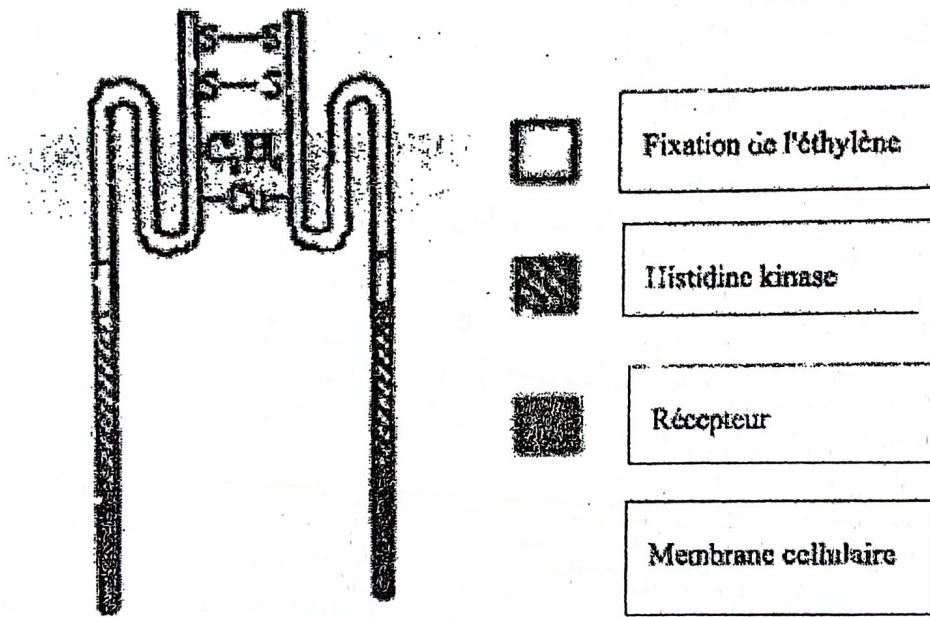
شكل الثمار بعد ثلاثة أسابيع من النضج	
النوع الطبيعي	النوع 4-1345 المحور وراثيا (OGM)
	

$\text{H}-\text{C}\equiv\text{N}$ = cyanure d'hydrogène = سيانيد الهيدروجين = سيانور الهيدروجين: يتحول في الماء إلى حمض السياني: بيريك = حمض البيرسيك، مركب عال السمية، يوجد في اللوزات المرة كالخوخ و أنواع جنس (*Prunus*) وأعضاء لأخرى لبعض النباتات..الخ.



مستقبلات الإثيلين:

إن مسار ترجمة إشارة الإثيلين قد تم وصفها كسار خطي ينطلق من المستقبل إلى غاية عوامل الترجمة المتواجدة في النواة. إن سلسلة الاستقبال و الترجمة لإشارة الإثيلين يتضمن: تثبيت الإثيلين على المستقبل ثم تتبع بفسفرة متتالية وتدخلات بروتين-بروتين للوصول إلى تعبير المورثات المساهمة في آليات النمو وبالمخصوص نضج الثمار. المستقبل عبارة عن بروتين، في العموم يتواجد على سطح الخلايا، قادرا على أن تثبت جزيئة حاملة لمعلومة (informative) [مثل الهرمونات] و تبديل الإشارة من خارج خلية إلى إشارة داخل خلية محدثة استجابة من طرف الخلية. يوجد من ضمن مستقبلات الإثيلين، المستقبل **ETR1** (*ethylene receptor*) (1) وإليك تركيبته:



مستقبل الإثيلين من تصميم Diderot

مجموعة الكيناز عبارة عن إنزيمات تحفز تفاعلات الفسفرة وذلك بإضافة أيون فوسفات إلى جزيئة الهدف. عادة ما تكون آليات الفسفرة جد شائعة قصد تنظيم نشاط الخلية. تتطلب عملية الإشارة الخلوية تدخل بروتينات الكيناز التي تؤثر على مختلف مواد تفاعل نوعية قصد إحداث استجابة خلوية نوعية. إن الهيستدين كيناز المعبئة (mobilisées) من طرف المستقبل الغشائي

تدخل في ترجمة الإشارة. تضبط مجموعة الكيناز في العموم من طرف الاشارات الخارجية، مثل الهرمونات (هنا الإثيلين). الإشارة الملتقطة من طرف المستقبل يتم نقلها نحو الخلية التي تقوم ببحث مورثات النضج. الشكل التالي:



مخطط نضج الثمار من تصميم Diderot.

حمض الأبسيسيك Acide abscissique

I- مقدمة: سمي بحمض الأبسيسيك بسبب تعلق دوره بسقوط الأوراق، ويرمز له اختصاراً بـ "ABA"، من الانجليزية (Abscissic Acid)، وهو عبارة عن هرمون نباتي، من المركبات التربينية، مكون من 15 ذرة كربون (sesquiterpène=C15). ويتدخل حمض الأبسيسيك بالخصوص في تنظيم: إنبات البذور، حث بناء البروتينات الادخارية وتفاعلات الإجهاد المائي، لذلك يعرف لدى العديد من الفسيولوجيين النباتيين باسم هرمون الإجهاد المائي *Hormone de stress hydrique*.

II- لمحة التاريخية Historique: مادة تم عزلها لأول مرة في سنة 1963 تحت اسم "abscissine" أبسيسين، المشارك في عملية السقوط أوراق القطن. وفي سنة 1964 عرفت تحت اسم "dormance" كمسؤول عن عملية السبات لدى براعم نبات الجبيز (*Ficus cycomorus*). وفي 1965 عرف الدور المزدوج للسقوط والسبات المنسوب إلى حمض الأبسيسيك.

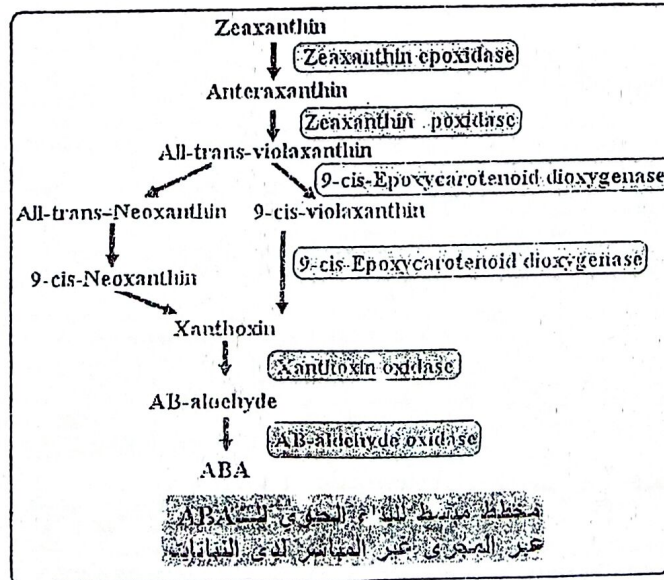
III- البناء الحيوي للـ Biosynthèse :

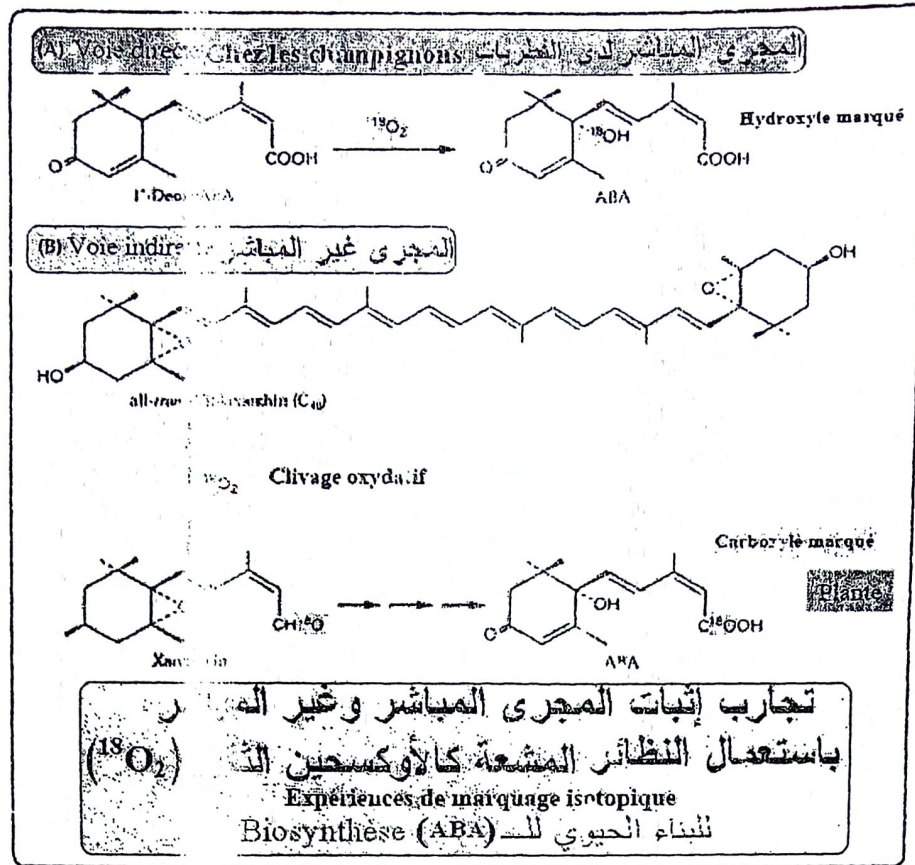
حمض الأبسيسيك مثله مثل الجبرلينات يتم إنتاجه ضمن مجرى التربينات، المكونة من 15 ذرة كربون (sesquiterpènes).

يتركز إنتاج حمض الأبسيسيك لدى النباتات، في مستوى برانشيم الجذور ولأوراق الناضجة وكذلك على مستوى الصانعات. وتبدأ إشارة الانطلاق من مركب حمض الميفالونات "acide mévalonique"، حيث يتم تمثيل حمض الأبسيسيك داخل النبات، وفق العديد من الخطوات يمكن سرد أهمها فيما يلي:

- 1- Mévalonate → → caroténoïdes → → β-carotène (C40) → → 9'-cis-néoxanthine (C40)
- 2- 9'-cis-néoxanthine (C40) + O₂ → Xanthoxine (C15) (coupée en deux et oxydée)
- 3- Xanthoxine → Aldéhyde abscissique (ABA-aldéhyde)
- 4- Aldéhyde abscissique → Acide abscissique (ABA) avec l'ABA-aldéhyde oxydase¹

كما يمكن سرد أهم الخطوات في المخطط اللوحات التالية:





فقد النشاط Inactivation:

حمض الأبسيسيك عبارة عن جزيئة غير مستقرة فسرعان ما تفقد نشاطها. حمض الأبسيسيك يمكن أن يفقد نشاطه بالاقتران مع السكريات الأحادية مشكلا بذلك حمض الأبسيسيك المثل: مثل ABA- β -D-Glucose ester (المخزن أو فاقد لنشاطه غير العكسي) أو بواسطة الأكسدة على هيئة حمض الفازيك = PA = d'acide phaséique ثم على هيئة "4-ديهيدروفازيك = DPA = 4-dihydrophaséique".

الهجرة Migration:

لا يوجد أي نظام لنقل نوعي خاص معروف لحد الساعة، ونظرا لكون حمض الأبسيسيك حمضا ضعيفا، فإن الجزيئات والتوزيع داخل الخلية تتم عن طريق هيئته الأيونية "ionisation" (نقل غير قطبي: عبر اللحاء داخل الأوراق وعبر الخشب داخل الجذور). تسمح له هذه الحالة الأيونية "ionisation" بالعبور بسهولة الأغشية اللبيدية "membranes lipidiques". إن زمن الهجرة جد محدود لأن حمض الأبسيسيك يكون أيضا جد سريع.

الخصائص الفسيولوجية Propriétés physiologiques:

1- يتدخل ABA في آلية فتح وغلق الثغور؛ إن مشتق ABA: 1-2- (إثيلين) ABA يتحول إلى ABA تحت تأثير الأشعة فوق البنفسجية (UV). إذن يمكننا شحن أو حقن هذا ABA في الخلايا الحارسة ثم ننشط تكوين ABA بتعريض الخلايا الحارسة الأشعة فوق البنفسجية (UV)؛ ففي حالة تغلق تفتح؟ الثغور لذلك يثبت الدور المباشر للـ ABA في آلية عمل الثغور.

2- إن الطفرات المحدثة في نباتات الذرة الصفراء وغير الحساسة للـ ABA تظهر نمطا ظاهريا ديمومتي (vp1). هذا النمط الظاهري ناتج عن أن الحنين لا يدخل في طور السبات في غياب هرمون السبات (ABA)، وبالتالي فإن هذا الحنين ينبت فوراً على النبات الأم.


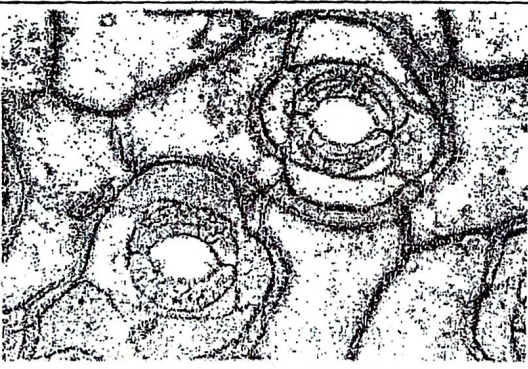

نعد أهمية حمض الأبسيسيك في "تدجين الأنواع النباتية domestication des espèces végétales" (خاصة النجيليات céréales) ذات أهمية بمكان.

- تسارع سقوط الأوراق (سبات شتوي) بون انطلاقه.
- الحث على الشيخوخة (نضج البذور بانتاج الـ LEA = Late Embryogenesis Abundant protein)
- تمديد فترة السبات
- وقف نمو البراعم التي بدأت النمو، بإعادة السبات.
- **تنشيط الإنبات البذور بتغيير نفاذية الأغشية.**
- تأثير سالب على تطاول السلمييات.
- عكس شروط التوافق الضوئي الضروري للإزهار
- هرمون الإجهاد: غلق الثغور لمجابهة الجفاف (نقص مائي)، صدمة أسموزية، نقص في العناصر المعدنية، نقص أوكسجين الجذور "des racines anoxie".
- سقوط الثمار الجافة.

• يتدخل في طرائق الدفاع ضد العناصر المرضية (cross-talk مع طرائق إشارات حمض الجاسمونيك/إثيلين، غلق الثغور لمنع دخول العامل الممرض الذي انطلق عن طريق آلية التعرف).

دور حمض الأبسيسيك في غلق الثغور (أنظر اللوحة) Rôle de l'ABA dans la fermeture des stomates

دور حمض الأبسيسيك في إنبات البذور (أنظر اللوحة) Rôle de l'ABA dans la germination des graines

		
دور ABA في إنبات البذور	بدون CO ₂ (-)، و بدون ABA (-) (الثغور مفتوحة)	بدون CO ₂ (-)، ووجود ABA (+) (الثغور مغلقة)

هرمونات أخرى

❖ حمض الجاسمونيك L'acide jasmonique:

- يحفز صناعة العديد من البروتينات، في حالة الهجمات الطفيلية والجروح ولسعات الحشرات؛
- يتدخل في مرحلة الشيخوخة والسقوط ونضج الثمار وتوضع الصبغات (يثبط اليخضور)
- يثبط إنبات البذور ونمو الجذور
- يثبط عمله بواسطة الأوكسين والسيتوكينين
- يشابه عمل ABA وقد يعمل بالتعاوض معه
- جليكزوبروتينات "glyxoprotéines" تسمح بإعادة توزيع نيتروجين الخلايا (خلايا في طور الشيخوخة = تنقل جزيئاتها النيتروجينية نحو خلايا أخرى، كما في حالة تكوين المدخرات).

❖ البرازينوستيرويدات Les brassinostéroïdes:

- تنحدر من التربينات
- تحفز نمو وانقسام الخلايا
- تؤثر بالتعاوض مع الأوكسين والجيبرلينات
- جد فعالة في التراكيز المنخفضة
- ترفع من المقاومة نحو الإجهاد الحيوي واللاحيوي (الأمراض والبرودة).

❖ حمض الساليساليك L'acide salicylique:

- يساهم في رفع مقاومة النباتات للعناصر الممرضة.
- علامة عن توليد الحرارة (استعمال الحرارة من طرف النباتات) مثال: القلقاس والحشرات
- يثبط انتاج الإثيلين وبالتالي يعمل على الزيادة في عمر الأزهار والثمار.

❖ متعددات الأمين Les polyamines: مثل (cadavérine, putrescine, spermidine, spermine, agmatine):

- تشتق من الأحماض الأمينية؛ خاصة الأرجينين؛
- يحفز انتاجها بالعوامل الخارجية (الضوء والبرودة والاجهاد الكيميائي...)
- لها دور في الحفاظ على البنية الخلوية كالأغشية وبناء الجزيئات الكبرى؛

○ تساهم في الانقسام الخلوي وتميز الأوعية الخشبية وتكوين الأجنة اجسمية والمشكل الزهري ونمو الثمار والشيخوخة؛

○ مواد اكتشفت في مجملها داخل جثث الحيوانات تحت تأثير الإنزيمات البكتيرية؛

○ إنها السموم المسؤولة عن عسر الهضم للأطعمة التالفة أو الفاسدة؛

○ توجد علاقة وطيدة بين سرعة النمو والمحتوى من متعددات الأمين:

▪ توقف بنائها يؤدي وقف النمو

▪ إضافة الأكسين والسيبتوكينين والجبرلين ترفع من إنتاجها

○ يصاحب شيخوخة الأعضاء النباتية انخفاض في محتوى متعددات الأمين. فهي متضاربة مع الإثيلين في هذه النقطة.

❖ السيستمين La systémine :

○ متعدد بيتيدي مشكل من 18 حمض أميني

○ يسند إليه دور في تفاعلات دفاع النبات ضد الهجمات الممرضة والجروح.

❖ الستريجولاكتون Strigolactone :

○ تشتق من استقلاب الكاروتينات؛

○ اكتشفت سنة 1960 عند دراسة هرمون نباتي يحفز انبات بذور جنس نبات يسمى *Striga*

(جنس من النباتات، المتطفلة)؛

○ تشارك في إنبات بذور بعض النباتات؛

○ وسيط كيميائي في تفاعلات التداخلات بين النباتات وفطريات الميكوريزية: فعندما تفرز

هذه الهرمونات بواسطة جذور النباتات تحفز نمو الميكوريزا وتجلبها نحو الجذور؛

○ تضبط تفرع النباتات. تثبط نمو الأفرع الجانبية. فالنباتات المطفرة وغير قادرة على انتاج هذا

الهرمون تصبح كثيفة التفرع؛

○ يمكن أن تساهم في جلب الكائنات الممرضة للنبات.

