

Connaissance du châtaignier #1



La floraison du châtaignier

Clément Larue et Rémy Petit



Figure 1 : Photographie des inflorescences du châtaignier. Les nombreux chatons mâles unisexués (en noir) se développent à la base du rameau de l'année, tandis que les chatons bisexués se développent à l'extrémité du rameau (en blanc). Sur ces derniers, un chaton mâle est associé à une inflorescence femelle.

Le châtaignier fleurit de façon massive et synchrone à la fin du printemps, les arbres se couvrant d'inflorescences blanches et odorantes. Il est **auto-incompatible**^{1,2}, c'est-à-dire que les fleurs femelles d'un arbre doivent être fécondées par du pollen produit par un autre arbre appartenant à une variété différente. Il est **monoïque** strict, c'est-à-dire que chaque arbre possède des fleurs mâles et des fleurs femelles séparées. Ces fleurs sont regroupées en inflorescences appelées chatons, qui se développent sur les rameaux de l'année, sur les branches les mieux éclairées à la périphérie de l'arbre.

Les fleurs du châtaignier

Le châtaignier possède deux types d'inflorescences : des chatons **mâles unisexués** et des chatons **bisexués** (**Figure 1**). Les chatons unisexués ne portent que des fleurs mâles rassemblées en glomérules qui

se succèdent en spirale le long de l'inflorescence. Les chatons bisexués sont formés d'un chaton mâle avec à sa base une ou deux inflorescences femelles. Les chatons mâles unisexués sont environ 30 fois plus nombreux que les chatons bisexués³.

Les fleurs mâles des chatons unisexués et bisexués d'une même variété sont similaires et produisent un pollen de même qualité⁴. Par contre, la fertilité mâle des différentes variétés de châtaignier varie⁵ : leurs fleurs mâles n'ont pas la même capacité à produire du pollen et donc pas la même capacité à féconder les arbres alentours⁶. Certaines variétés de châtaignier sont mâle-stériles, comme 'Bouche de Bétizac' : elles ne produisent pas de pollen. D'autres sont mâle-fertiles, comme 'Marigoule', et produisent un abondant pollen. Cette variabilité de la stérilité mâle se retrouve aussi bien dans les ver-

gers que dans les forêts, faisant du châtaignier européen un des rares arbres **gynodioïque**⁷.

Les fleurs femelles sont généralement regroupées par trois dans un involucre qui formera ensuite la bogue piquante. Dans ces inflorescences, la fleur centrale est réceptive 12 jours plus tôt que les deux latérales⁸. Les stigmates, correspondant aux parties réceptives de la fleur femelle, se trouvent à l'extrémité des styles. Ils sont de très petite taille et en forme de cratère. Si une fleur femelle est fécondée, un fruit possédant généralement une seule amande, se développe. Si une fleur femelle n'est pas fécondée, un fruit vide se forme. La mesure du taux de remplissage, c'est-à-dire la proportion de fruits développés contenu dans les bogues, donne après correction statistique une estimation fiable de la qualité du service de pollinisation⁹.

Suivre l'avancement de la floraison

L'échelle BBCH est la méthode de référence pour suivre la **phénologie** des plantes, c'est-à-dire la succession des phases de développement au cours de la saison (feuillaison, floraison, fructification, etc...). Une version adaptée au châtaignier existe¹⁰.

Pour décrire la floraison du châtaignier, trois notes sont attribuées : la première pour les chatons mâles unisexués, la seconde pour les inflorescences femelles, et la dernière pour la partie mâle des chatons bisexués (**Tableau 1**). La pleine floraison mâle est atteinte quand au moins 50% des chatons males (unisexués ou bisexués) sont fleuris, c'est-à-dire lorsque leurs glomérules sont bien ouverts (**Figure 2**). De même, la pleine floraison femelle est atteinte lorsque au moins 50% des fleurs femelles sont réceptives, c'est-à-dire quand les stigmates des trois fleurs femelles sont bien développés (**Figure 2**).

Les fleurs mâles des chatons unisexués fleurissent en premier, vers fin Mai – début

Juin (**Figure 3**) : c'est le premier pic d'émission de pollen. Celui-ci est massif puisqu'il représente près de 97% de l'émission totale de pollen. Environ 15 jours plus tard, la partie mâle des chatons bisexués fleurit à son tour : c'est le second pic d'émission de pollen. Celui-ci ne représente qu'environ 3% du pollen émis par l'arbre¹⁰. Cette double émission de pollen, appelée **duodichogamie**¹¹, est très rare chez les plantes¹². Ces deux pics d'émission de pollen chevauchent la longue période de réceptivité femelle, qui dure près de trois semaines à l'échelle de l'arbre. Cette réceptivité femelle est maximale 10 à 15 jours après le début de la floraison^{8,13}.

Des données à récolter

Malheureusement, trop peu de données de phénologie sont disponibles pour les principales variétés de châtaigniers. Les premiers relevés de phénologie ont été réalisé durant le printemps 2022 (**Figure 3**) et ces relevés doivent être réalisés plusieurs années consécutives avant de pouvoir obtenir la **compatibilité temporelle** moyenne de ces différentes variétés. La compatibilité temporelle des variétés plantées dans le verger est pourtant primordiale pour garantir la production de fruits : lorsqu'une variété est réceptive, il faut que plusieurs autres variétés produisent du pollen pour que le succès de pollinisation soit élevé. Cette phénologie de la floraison peut varier d'un verger à un autre suivant la température moyenne et l'ensoleillement par exemple, et cette variabilité de la floraison pourra être mieux prise en compte si des relevés sont effectués dans des endroits variés. Pour s'adapter au changement climatique en cours et aux modifications de la phénologie de la floraison qui en résulteront, ces relevés phénologiques se révèleront inestimables. Plusieurs **fiches de relevés** sont fournies à la fin de ce livret (la première pour réaliser des relevés simplifiés et la seconde pour des suivis détaillés), que vous pouvez photocopier pour vos suivis. Maintenant, à vous de jouer !

Avant la floraison

Chatons unisexués

Inflorescences mâles



Pendant la floraison



Après la floraison



Chatons bisexués

és

Inflorescences femelles

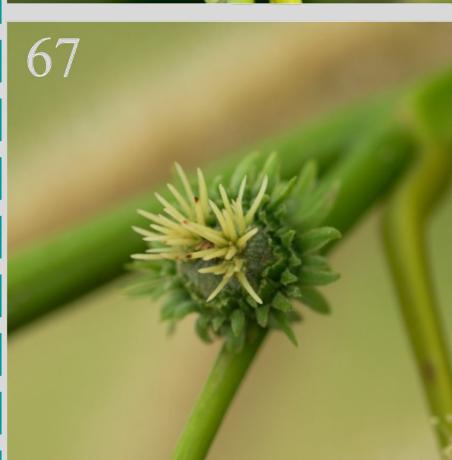


Tableau 1 : Stades phénologiques du châtaignier selon l'échelle BBCH¹

Code BBCH¹ Description

Stade 5 : Apparition des inflorescences (chatons unisexués / inflorescences femelles / chatons bisexués)

Inflorescences mâles (chatons unisexués ou bisexués)

- | | |
|----|--|
| 50 | Apparition des chatons mâles |
| 55 | Les glomérules sont visibles, les chatons mâles s'allongent |
| 59 | Les glomérules sont bien différenciés, les chatons mâles ont atteint 90% de leur longueur finale |

Inflorescences femelles

- | | |
|----|---|
| 50 | Apparition des bourgeons des inflorescences femelles |
| 55 | Les chatons bisexués s'allongent |
| 59 | Les inflorescences femelles sont bien différenciées, les chatons bisexués ont atteint 90% de leur longueur finale |

Stade 6 : Floraison (fleurs mâles des chatons unisexués / fleurs femelles / fleurs mâles des chatons bisexués)

Fleurs males (chatons unisexués ou bisexués)

- | | |
|----|--|
| 60 | Les premières fleurs mâles s'ouvrent (Fm-Fa ²) |
| 61 | Début de floraison : 10-20% des fleurs mâles sont ouvertes |
| 62 | 20-30% des fleurs mâles sont ouvertes |
| 63 | 30-40% des fleurs mâles sont ouvertes |
| 64 | 40-50% des fleurs mâles sont ouvertes |
| 65 | Pleine floraison : au moins 50% des fleurs mâles sont ouvertes (Ff2-Fa2 ²) |
| 67 | Les chatons fanent : au moins 50% des chatons sont bruns (Gm-Ga ²) |
| 69 | Fin de floraison : au moins 50% des chatons ont chuté |

Fleurs femelles

- | | |
|----|---|
| 60 | Les fleurs femelles sont visibles |
| 61 | Les styles de la fleur centrale de l'inflorescence sont visibles (Ff ²) |
| 63 | Les styles de fleur centrale sont allongés, les styles des fleurs latérales sont visibles |
| 65 | Plein réceptivité : les styles des trois fleurs femelles sont bien développés (Fm2 ²) |
| 67 | Au moins 50% des fleurs femelles ont les stigmates brunis |
| 69 | Fin de floraison : toutes les fleurs femelles ont les stigmates brunis |

¹ Seules les notes correspondant aux développement des inflorescences et à la floraison sont décrites ici. L'échelle BBCH complète est présentée dans Larue et al. (2021)

² Équivalent avec la notation de Solignat et Chapa (1975)

Figure 2 : Photographies des inflorescences de châtaigniers. **Colonne de gauche :** chatons mâles unisexués. **Colonne centrale :** inflorescences mâles des chatons bisexués. **Colonne de droite :** inflorescence femelle. La pleine floraison mâle (stade 65) est plus ou moins facile à observer : sur un arbre mâle stérile, les glomérules sont ouverts mais aucune étamine n'est visible tandis que sur un arbre mâle fertile, les étamines dépassent largement des glomérules et sont très visibles.

Chatons mâles unisexués

	24-mai		03-juin		13-juin		24-juin			
Belle Epine										
Bournette										
Maraval										
Maridonne										
Marigoule										
Marsol										
Pollifer										
Précoce Migoule										
Verdale										
Vignols										



Début de la floraison



Pleine floraison

Fleurs femelles

	24-mai		03-juin		13-juin		24-juin			
Belle Epine										
Bellefer										
Bétizac										
Bournette										
Jeannette										
Maraval										
Maridonne										
Marigoule										
Marsol										
Pollifer										
Précoce Migoule										
Verdale										
Vignols										



Pleine réceptivité

Figure 3 : Suivi de la floraison des principales variétés de châtaigniers durant le printemps 2022 dans les vergers d'Invenio (Douville). Ces relevés devront être réalisés plusieurs années avant d'obtenir la compatibilité temporelle moyenne des variétés. **En haut :** période d'émission de pollen par les chatons mâles unisexués (seules les variétés mâles fertiles sont représentées). Le début de la floraison correspond aux stades 61 à 64, tandis que la pleine floraison correspond au stade 65. **En bas :** pleine réceptivité des fleurs femelles (stade 65).

Références :

- [1] Stout AB. *Why are chestnuts self-fruitless?* J New York Bot Grd. 1926;27:154-158.
- [2] Xiong H, Zou F, Guo S, Yuan D, Niu G. *Self-sterility may be due to prezygotic late-acting self-incompatibility and early-acting inbreeding depression in Chinese chestnut.* J Am Soc Hortic Sci. 2019;144:172-181.
- [3] Larue C, Austruy E, Basset G, Petit RJ. *Revisiting pollination mode in chestnut (*Castanea* spp.): an integrated approach.* Bot Lett. 2021;168(3):348-372.
- [4] Silva DM, Zambon CR, Techio VH, Pio R. *Floral characterization and pollen germination protocol for *Castanea crenata* Siebold & Zucc.* S Afr J Bot. 2020;130:389-395.
- [5] Solignat G, Chapa J. *Biologie florale du châtaignier.* In: Châtaignes et marrons. Invuflec; 1975.
- [6] Larue C, Klein EK, Petit RJ. *Sexual interference revealed by joint study of male and female pollination success in chestnut.* Mol Ecol. 2023;32(5):1211-1228.
- [7] Larue C, Petit RJ. *Harmful self-pollination drives gynodioecy in European chestnut, a self-incompatible tree.* Published online March 4, 2023;2022.08.01.502348.
- [8] Shimura I, Yasuno M, Otomo C. *Studies on the breeding behaviours of several characters in chestnuts. II. Effects of pollination time on number of nuts in the burr.* Japan J Breed. 1971;(21):77-80.
- [9] Larue C. *De la pollinisation à la formation des graines : le cas du châtaignier.* PhD Thesis. Université de Bordeaux; 2021.
- [10] Larue C, Barreneche T, Petit RJ. *Efficient monitoring of phenology in chestnuts.* Sci Hortic. 2021;281:109958.
- [11] Stout AB. *Dichogamy in flowering plants.* Bull Torrey Bot Club. 1928;55(3):141-153.
- [12] Shi Z, Stösser R. *Reproductive biology of Chinese chestnut (*Castanea mollissima* Blume).* Europ J Hort Sci. 2005;70(2):96-103.
- [13] Petit RJ, Larue C. *Confirmation that chestnuts are insect-pollinated.* Bot Lett. 2022;169(3):370-374..

Protocole #1: pour un suivi simplifié...

- Dans ma parcelle, je choisis plusieurs arbres par variété et je les marque pour les retrouver.
 - Je fais au moins deux passages par semaine pour inspecter tous les arbres marqués : je regarde l'arbre dans son ensemble puis une dizaine d'inflorescences au minimum, et je note si ces inflorescences sont en pleine floraison (stade 65).
 - A la fin du printemps, je note la période où les arbres suivis étaient en pleine floraison pour les chatons mâles unisexués et en plein réceptivité pour les fleurs femelles.



Femelle



Mâle



Mâle

Exemple :

Variété	Arbre	Fleur	24-mai	27-mai	30-mai	03-juin	07-juin	10-juin	13-juin	17-juin	20-juin	24-juin	28-juin	01-juil
Marigoule	1	Mâles - Unisexués					65	65						
Marigoule	1	Femelles					65	65	65	65				
Marigoule	2	Mâles - Unisexués					65	65						
Marigoule	2	Femelles					65	65	65	65				

Mes données : (à compléter)

Protocole #2 : pour un suivi détaillé....

- Dans ma parcelle, je choisis plusieurs arbres par variété (au minimum trois) et je les marque pour les retrouver facilement.
 - Je fais au moins deux passages par semaine pour inspecter tous les arbres marqués.
 - Je regarde l'arbre dans son ensemble puis une dizaine d'inflorescences au minimum.
 - Je note la floraison des chatons mâles unisexués, des fleurs femelles, et des fleurs mâles des chatons bisexués. Pour cela, je coche la case correspondant au stade que j'ai vu.
 - Je passe à l'arbre suivant, et je remplis une nouvelle ligne de mon tableau.

A la fin de la floraison, je note la période où les arbres suivis étaient au stade 65 pour les chatons mâles unisexués (pleine floraison) et pour les fleurs femelles (maximum de réceptivité).

Titre :

Date :

ID	Variété	Nom	Chatons unisexués								Chatons bisexués								Commentaires
			Fleurs mâles				Fleurs femelles				Fleurs mâles				Fleurs femelles				
			55	59	60	61	62	63	64	65	67	69	55	59	60	61	63	65	67
1																			
2																			
3																			
4																			
5																			
6																			
7																			
8																			
9																			
10																			
11																			
12																			
13																			
14																			
15																			
16																			
17																			
18																			
19																			
20																			
55	59	60	61	62	63	64	65	67	69	55	59	60	61	63	65	67	69	55	59