

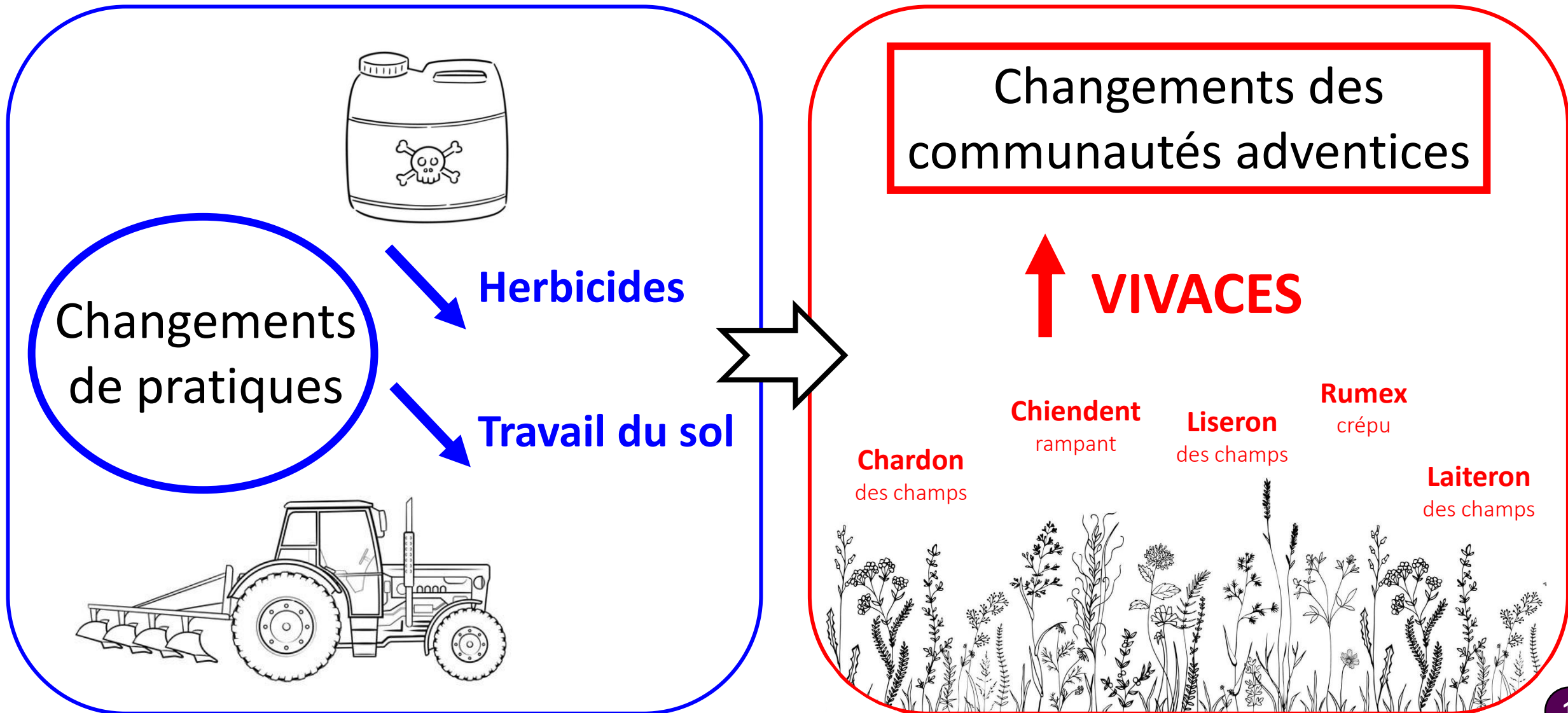
Modélisation des adventices vivaces dans FLORSYS

Solèmne Skorupinski, Delphine Moreau, Nathalie Colbach

Issu des travaux de thèse : <https://theses.fr/2024UBFCK067>



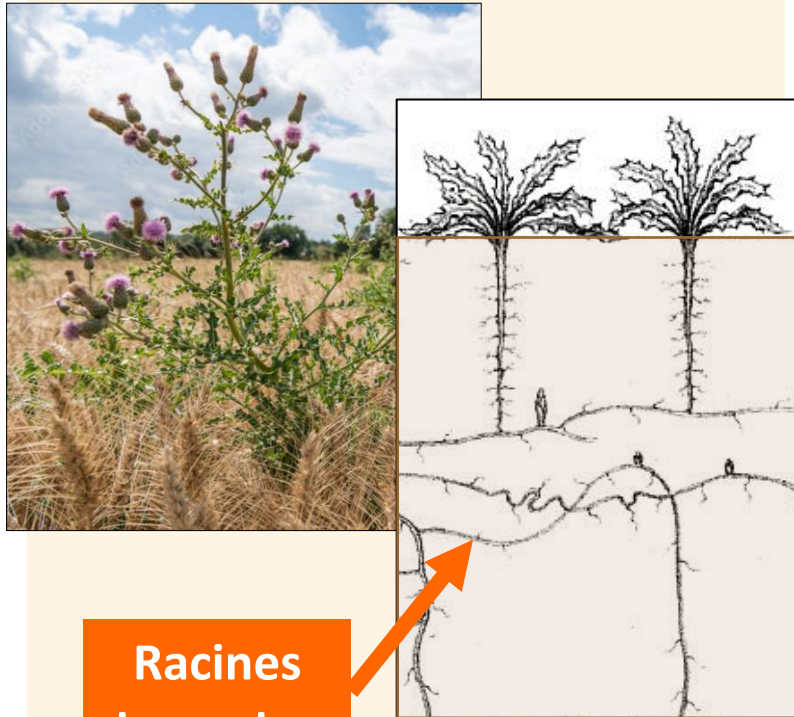
Les changements de pratiques influencent les communautés adventices



Les adventices vivaces : définition

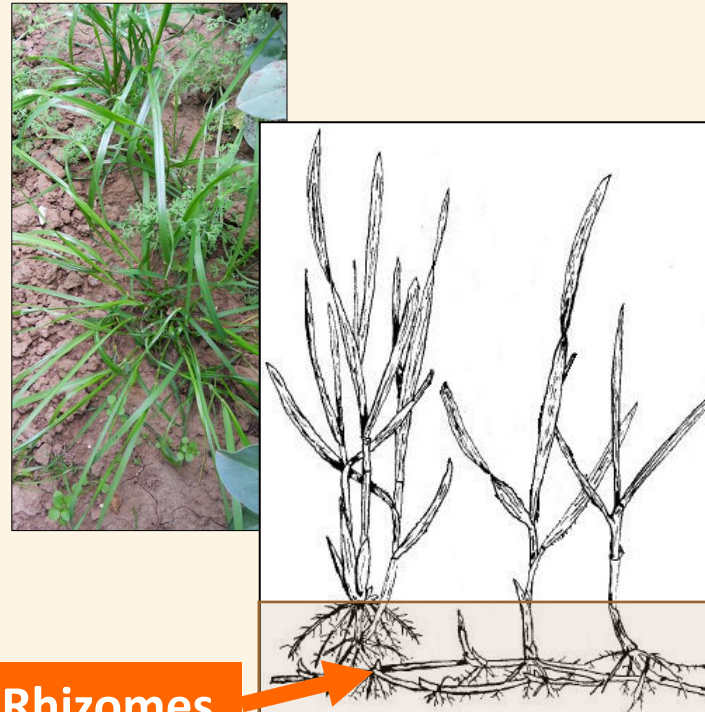
Plantes qui accumulent **des réserves** dans des **organes de stockage** à partir desquels elles peuvent se **multiplier indéfiniment**.
Ces organes sont souvent **souterrains** et **persistents** pendant la mauvaise saison.

Chardon des champs



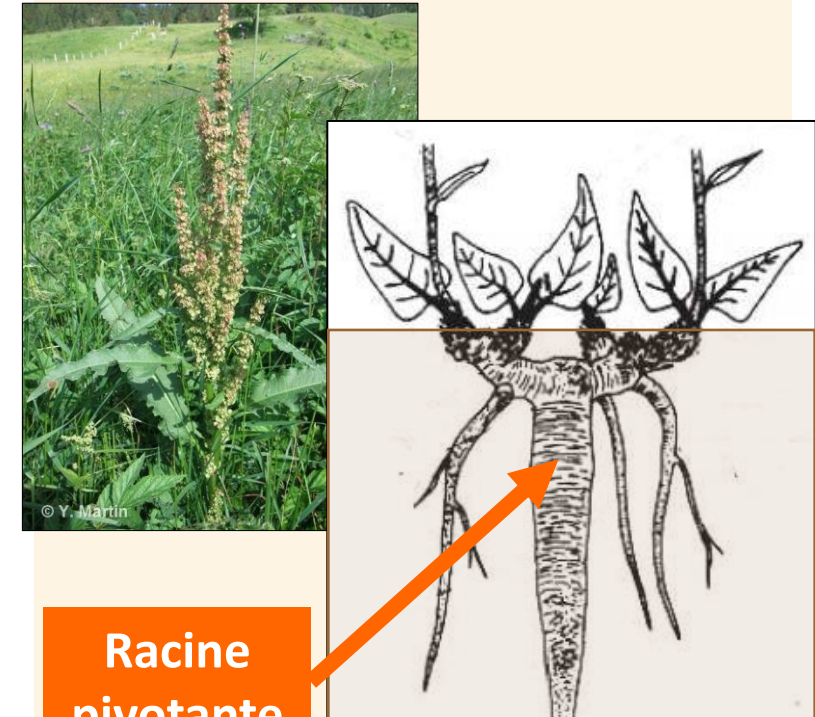
Racines
traçantes

Chiendent rampant



Rhizomes
= tiges souterraines

Rumex à feuilles obtuses



Racine
pivotante

Les adventices vivaces : définition

Plantes qui accumulent **des réserves** dans des **organes de stockage** à partir desquels elles peuvent se **multiplier indéfiniment**, **même à partir de fragments**. Ces organes sont souvent **souterrains** et **persistent** pendant la mauvaise saison.

Chardon des champs



Racines
traçantes

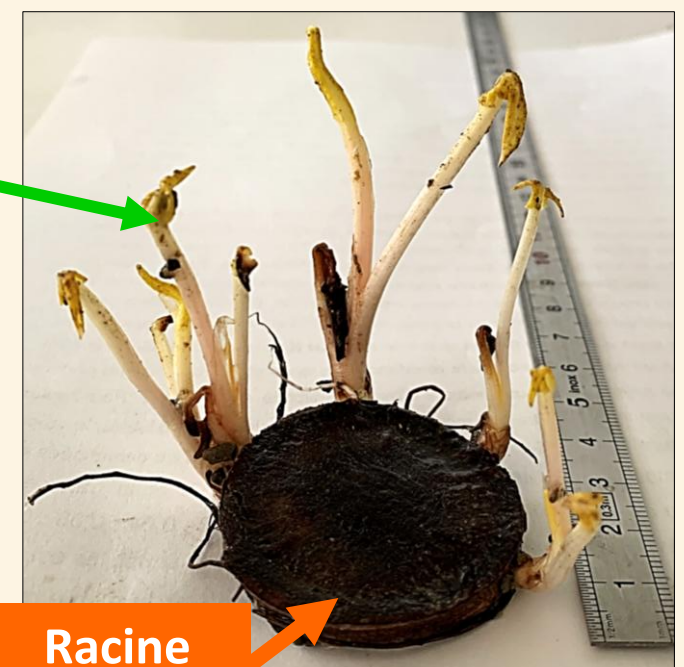
Chiendent rampant



Rhizomes

= tiges souterraines

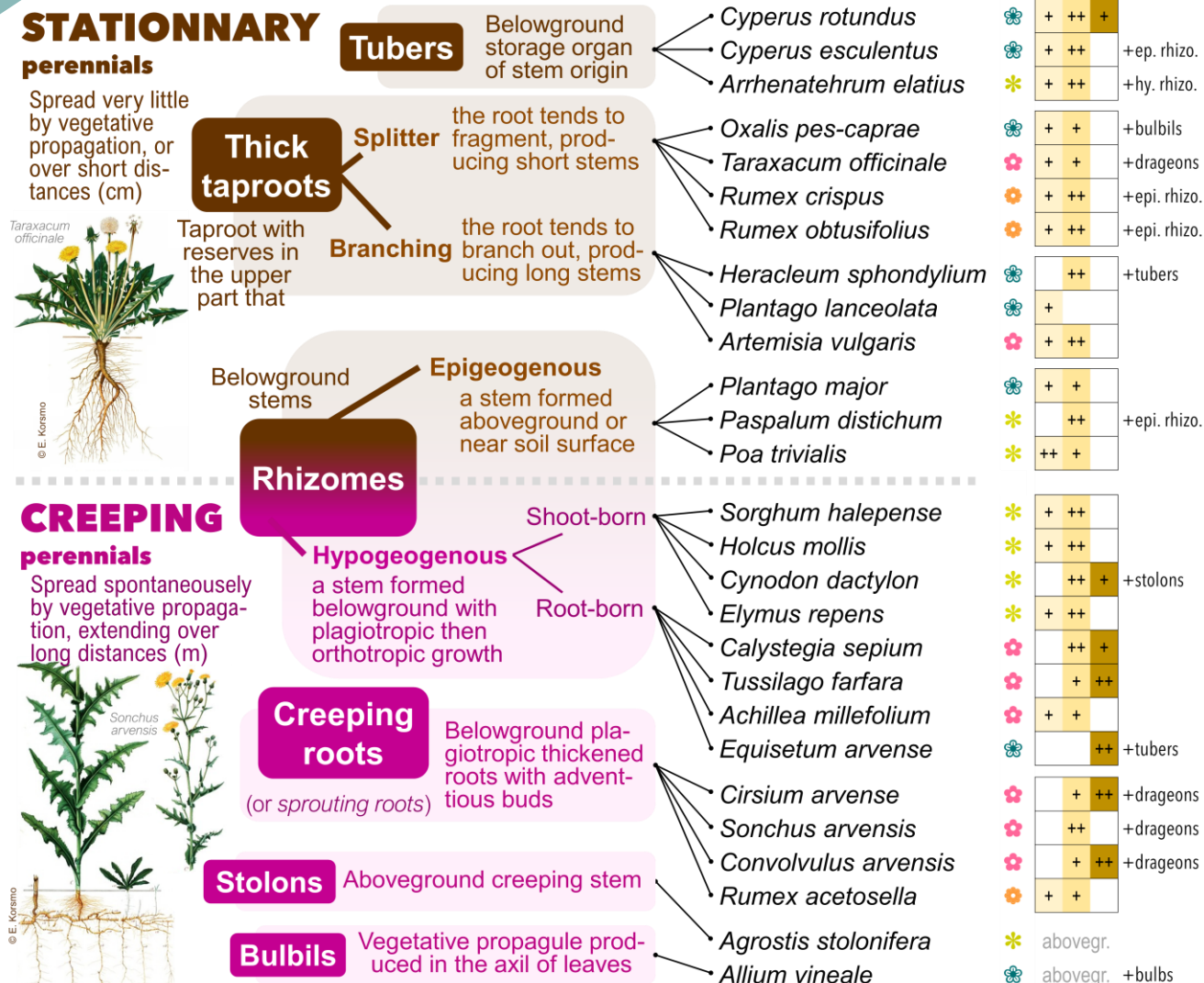
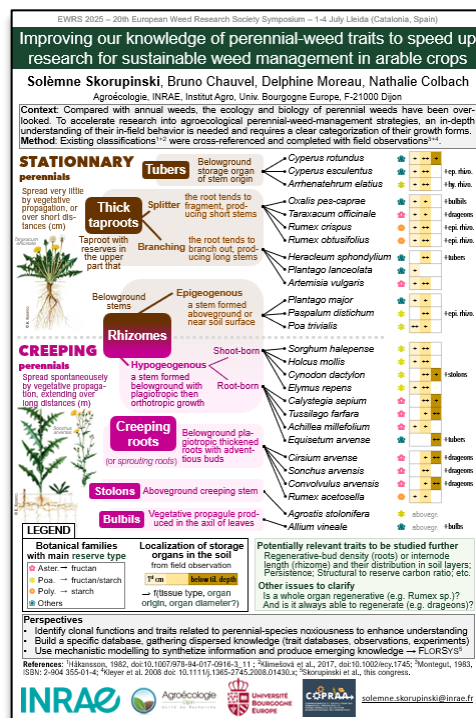
Rumex à feuilles obtuses



Racine
pivotante

Pour aller plus loin sur les organes de stockage par espèce :

Poster



<https://hal.inrae.fr/hal-05295442>

Skorupinski et al 2026 – EWRS conference

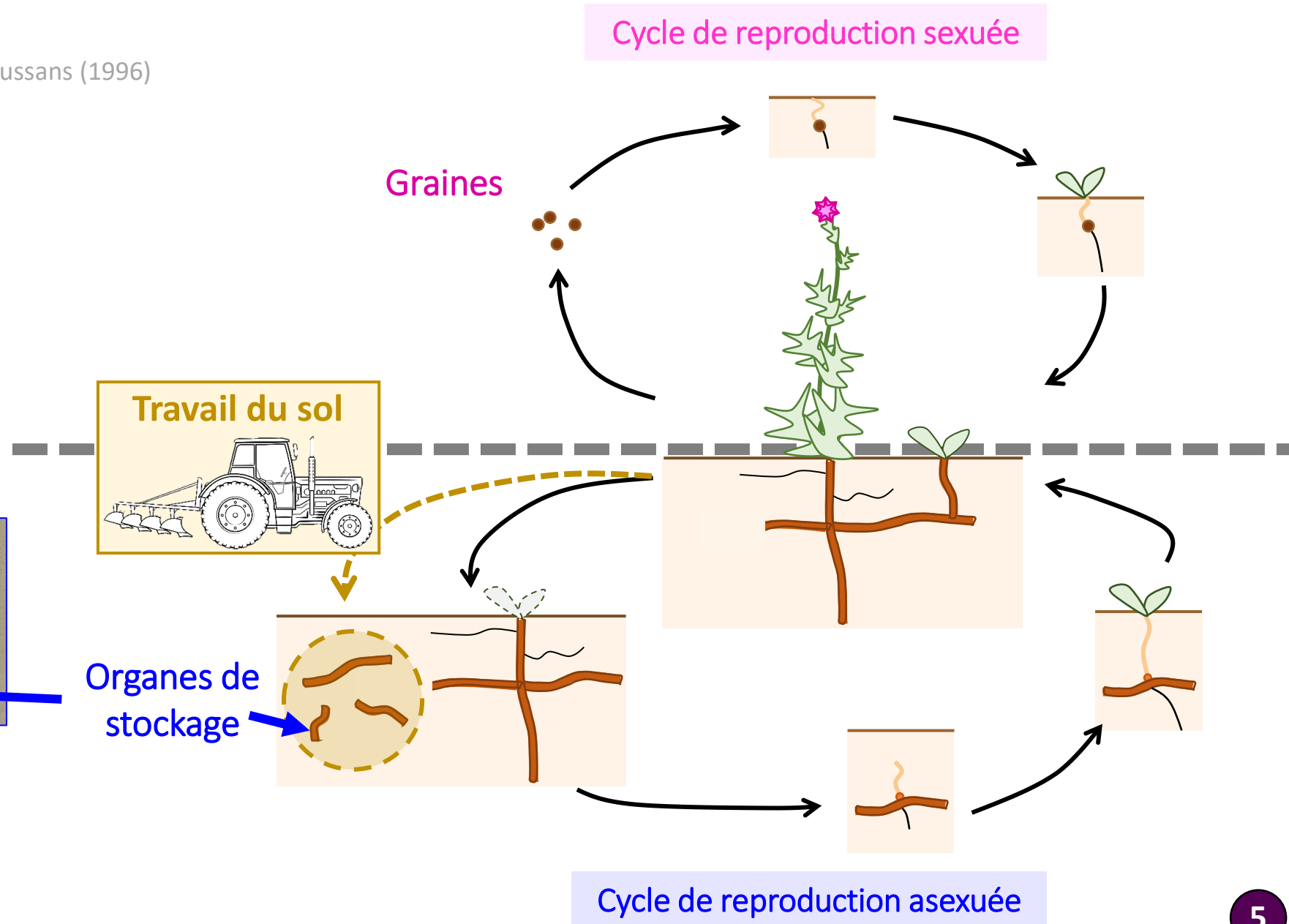
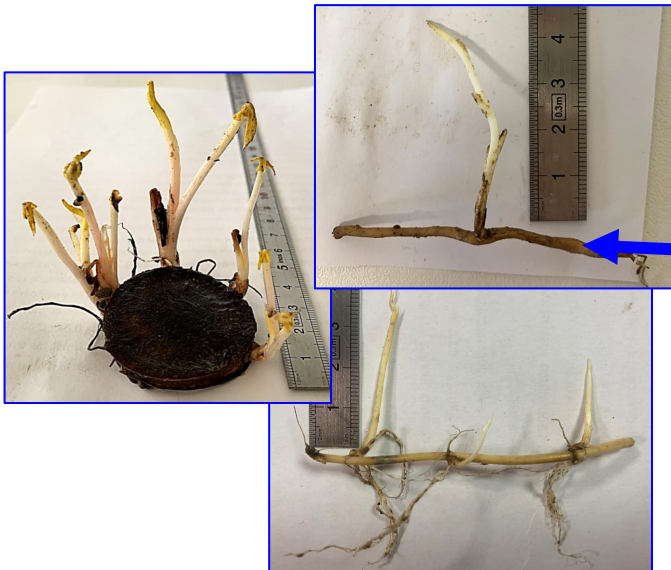
Un double cycle de vie

Heimann and Cussans (1996)

**Se propagent
rapidement**

+

**Régénèrent
après une
perturbation**



Un double cycle de vie

Heimann and Cussans (1996)

Se propagent
rapidement

+

Régénèrent
après une
perturbation

Manque de **leviers et des
stratégies de gestion
durable** spécifiques des
adventices vivaces

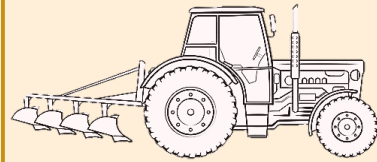
Cycle de reproduction sexuée

Hatcher 2017; Bagavathiannan et al. 2020; Gerowitt 2022

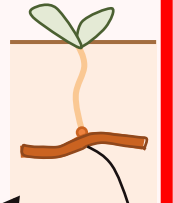
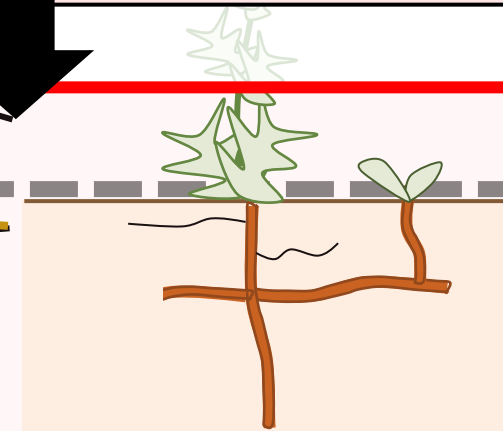
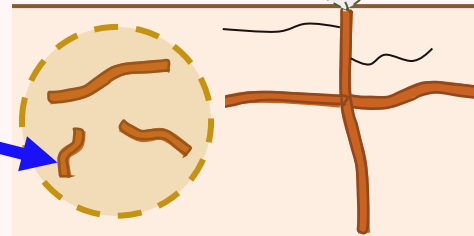
Manques de connaissances

Biologie spécifique des espèces
Réponses aux techniques culturales

Travail du sol



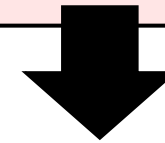
Organes de
stockage



Cycle de reproduction asexuée

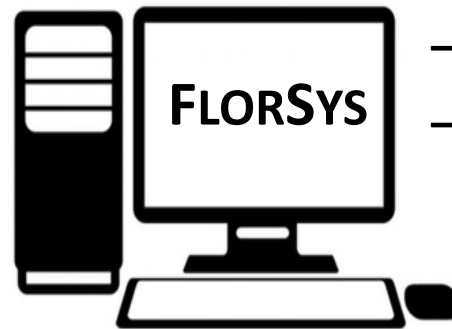
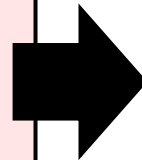
Choix de mobiliser la modélisation mécaniste

Manques de connaissances
Biologie spécifique des espèces
Réponses aux techniques culturales



Un outil : la **modélisation mécaniste**

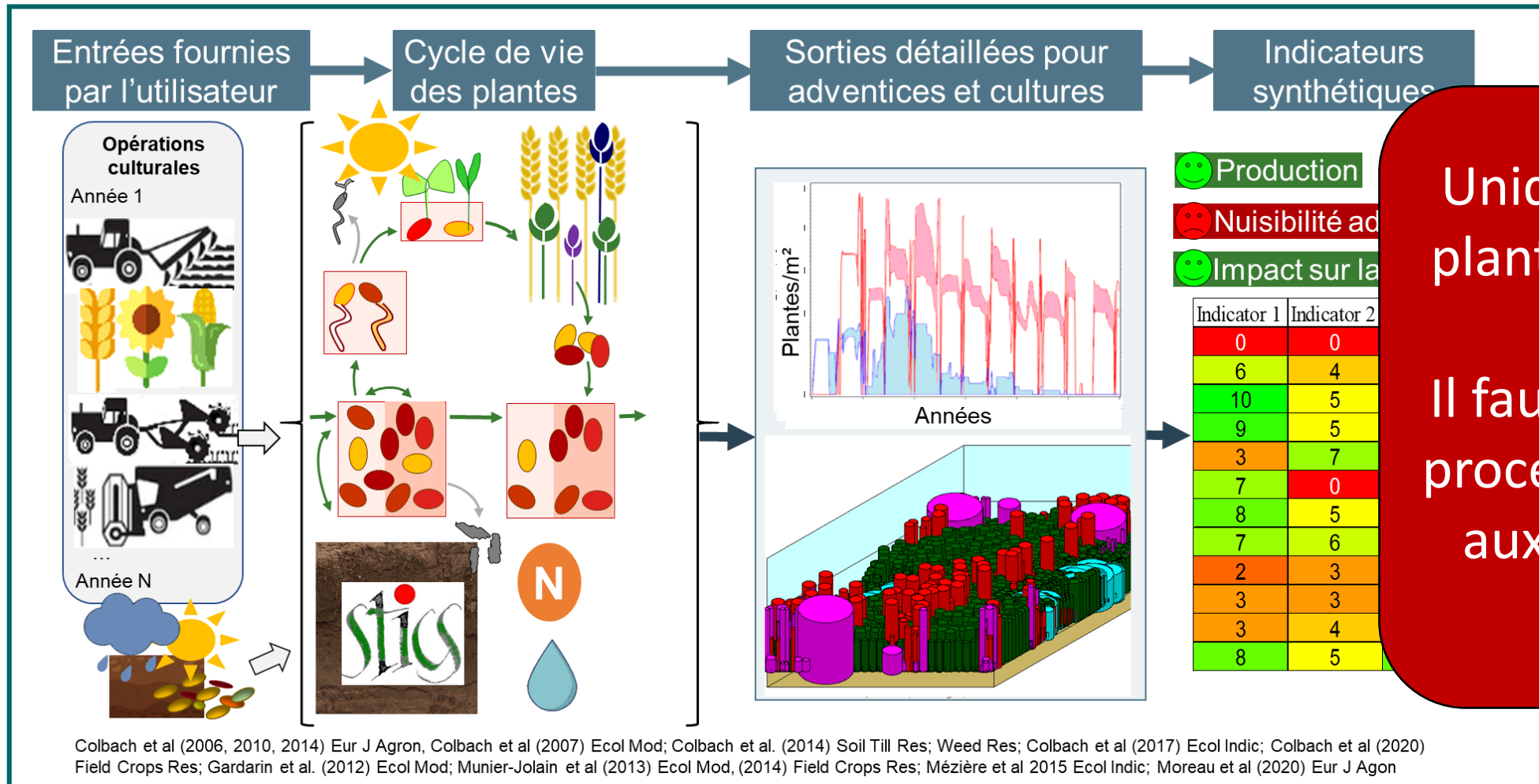
Manque de **leviers et des stratégies de gestion durable** spécifiques des adventices vivaces



- Synthèse de **connaissances**
- Tester des combinaisons de techniques
 - en grand nombre
 - dans différents contextes

Utiliser FLORSYS pour identifier des leviers de gestion des adventices vivaces et concevoir des systèmes agroécologiques

Le modèle FLORSYS



Comment compléter FLORSYS pour qu'il représente les vivaces ?

Processus du cycle sexué

= **déjà formalisés** dans FLORSYS

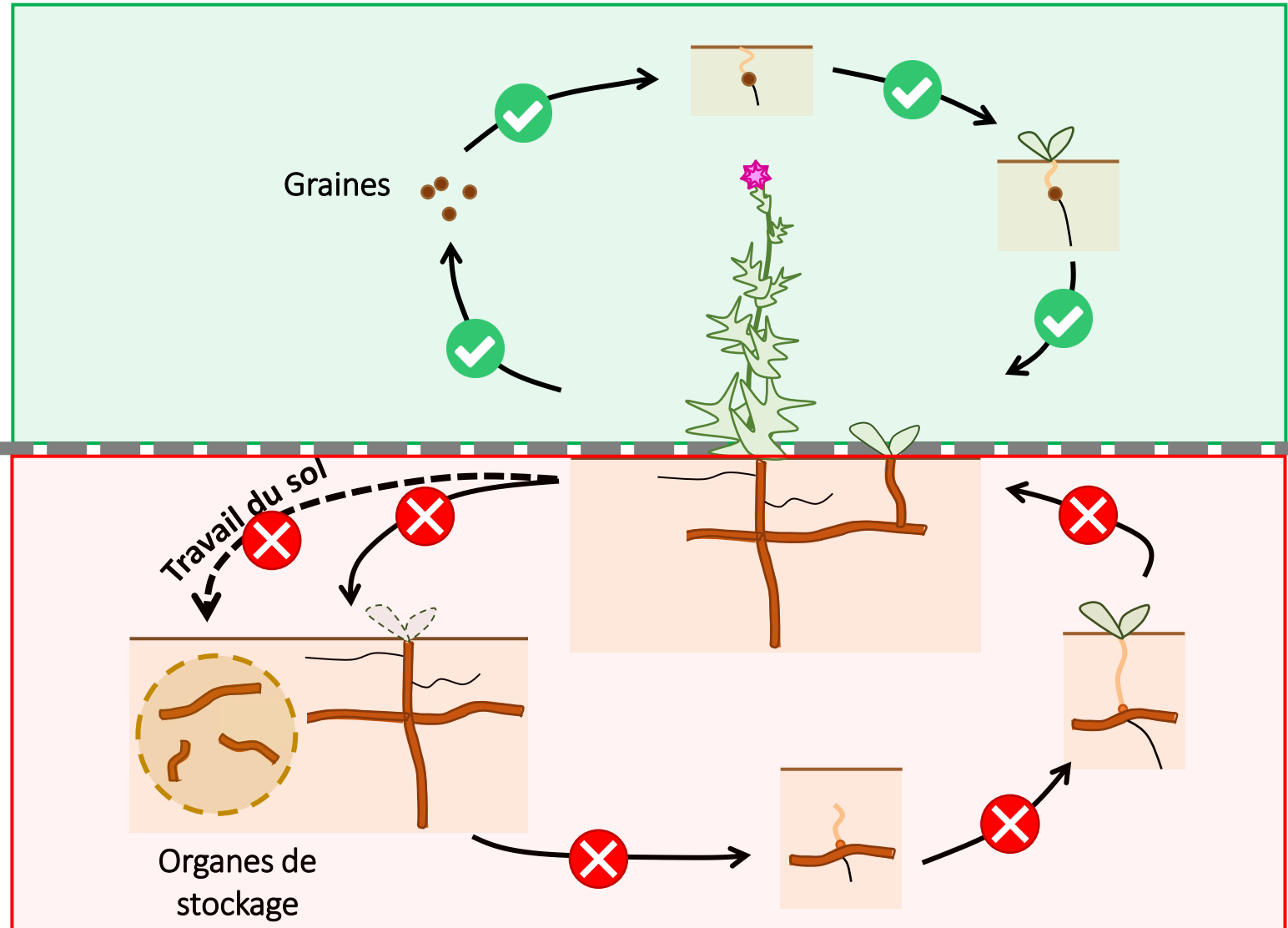
 **Paramétrer** des espèces vivaces

$$y = a \cdot x + b$$

Processus du cycle asexué

**à comprendre,
formaliser et paramétrer**

Construction d'un nouveau module compatible avec FLORSYS



Principes de construction du module vivace compatible avec FLORSYS

Autant que possible :

Connecter

Ancrer le module sur les **variables** et **modules** préexistants de FLORSYS

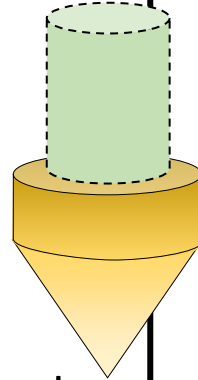
Minimiser les changements dans la représentation 3D des individus

« Recycler »

Réutiliser des formalismes existants avant d'en définir de nouveaux

Généraliser

Utiliser des équations **valables pour de nombreuses espèces** adventices vivaces



Synthèse de connaissances sur six espèces :

Racines traçantes

Chardon des champs



Rhizomes

Chiendent rampant



Racine pivotante

Rumex crépu



Rumex à feuilles obtuses



Paramétrées

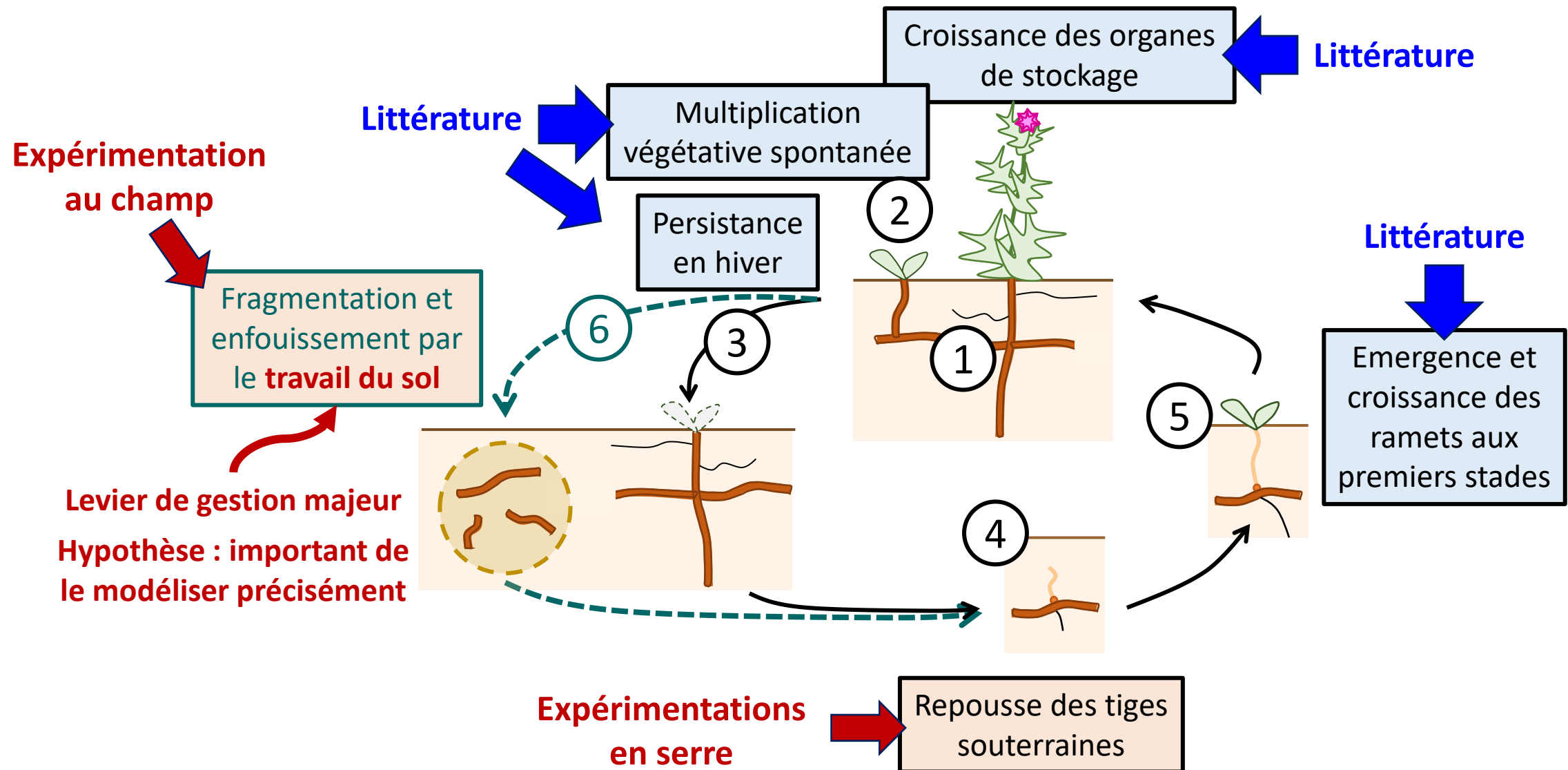
Liseron des champs



Laiteron des champs



Synthèse : les processus principaux du cycle asexué des adventices vivaces



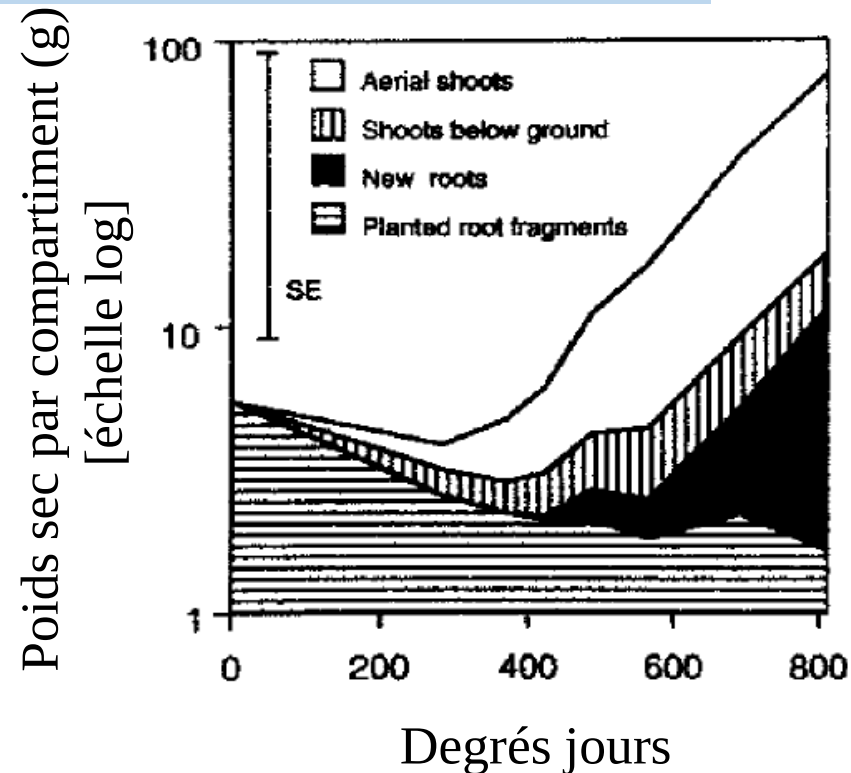
Croissance des organes de stockage

1. Allocation de la biomasse produite par photosynthèse

Littérature - Expérimentations en conditions contrôlées : mesures de biomasse des différents organes de plantes qui repoussent à partir de fragments enfouis dans du sol

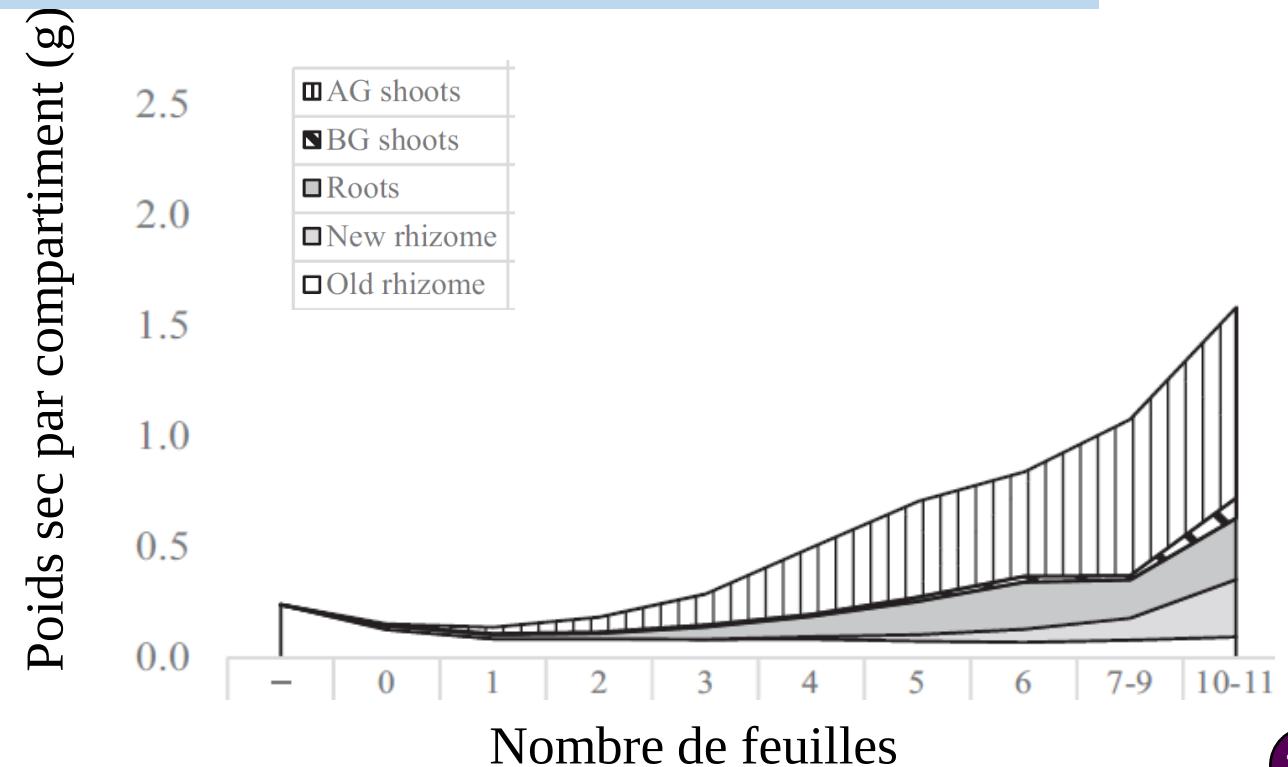
Cirsium arvense

Dock Gustavsson (1997)



Elymus repens

Ringselle et al. (2021)



Croissance des organes de stockage

1. Allocation de la biomasse produite par photosynthèse

Littérature - Expérimentations en conditions contrôlées : mesures de biomasse des différents organes de plantes qui repoussent à partir de fragments enfouis dans du sol

Cirsium arvense

Dock Gustavsson (1997)

Elymus repens

Ringselle et al. (2021)

$Biomasse\ organe\ de\ stockage = 10^{\alpha_{SBR}} \cdot (Biomasse\ de\ la\ plante)^{b_{SBR}}$

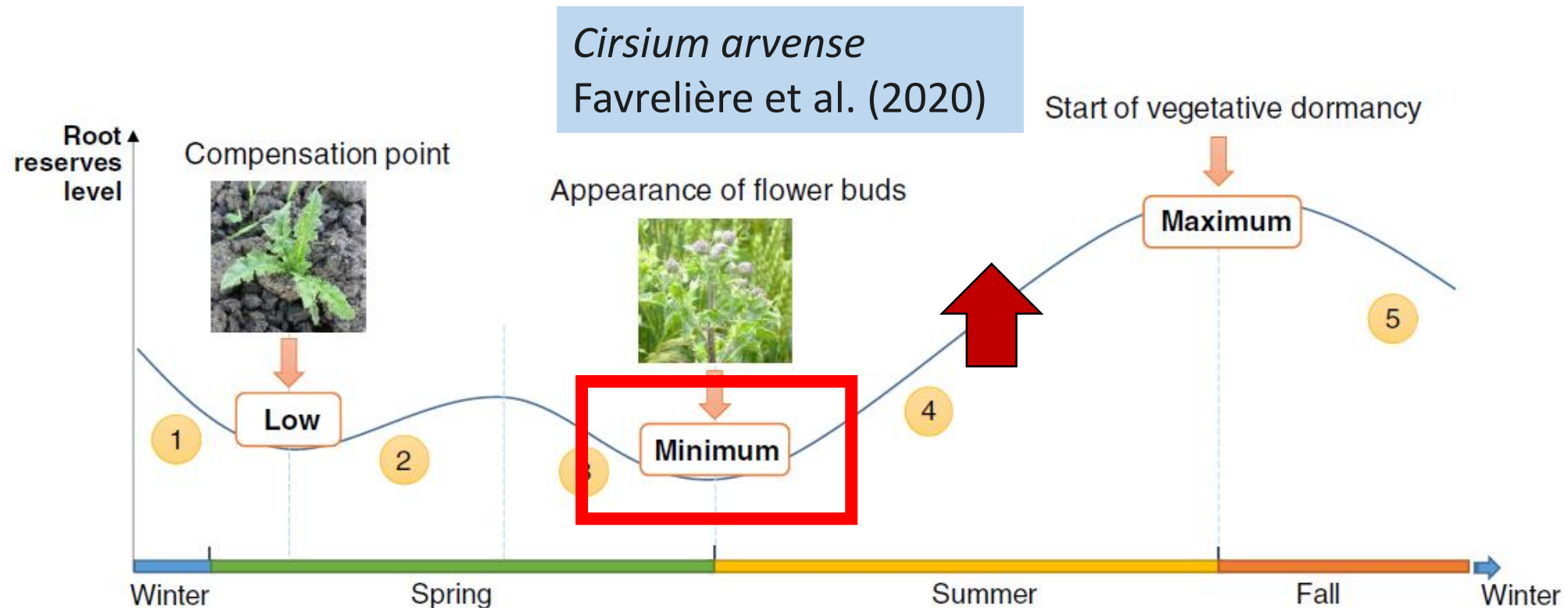
+ **valeur minimale de biomasse aérienne** pour démarrer le stockage

= point de compensation



Croissance des organes de stockage

1. Allocation de la biomasse produite par photosynthèse
2. Motif de variation saisonnière



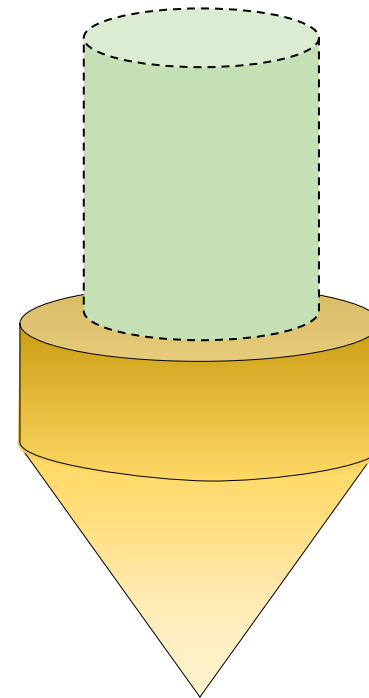
➡ **Règles d'allocation** : la reproduction sexuée prioritaire (pas de mise en réserve)
puis, la mise en réserve prioritaire (recyclage de biomasse)

Croissance des organes de stockage

1. Allocation de la biomasse produite par photosynthèse
2. Motif de variation saisonnière
3. Distribution dans l'espace (croissance en 3D)

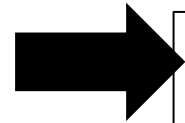
Recyclages de formalismes pré-existants de FLORSYS : utilisation des formalismes relatifs à la distribution de la biomasse racinaire

Pointurier et al. 2021



Multiplication végétative spontanée (*ramet recruitment*)

Littérature – Observations de terrain



Seuil de biomasse de stockage pour déclencher la repousse d'un ramet
→ Dépend du **stade de la plante** (motif saisonnier)



Table S7. Summary table for ramet recruitment rates for *Cirsium arvense* and *Elymus repens*.

Species	Recruitment rate	Value (nb ramet · g ⁻¹)*	Reference for calculation
<i>Cirsium arvense</i>	recRate _{ghost}	0.5	(Donald 1993)
	recRate _{vegetatif}	0.16	(Bourdôt et al. 2016)
	recRate _{postmat}	0	(Bourdôt et al. 2016)
<i>Elymus repens</i>	recRate _{ghost}	0.81	Calculated based <i>C. arvense</i> data**
	recRate _{vegetatif}	0.26	(Neeser 1992)
	recRate _{postmat}	0	Deduced from field observation in literature (Palmer 1958)

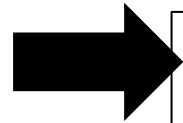
*shoot per g dry weight of storage organ

**the ratio between recRate_{ghost} and reRate_{vegetative} of *C. arvense* was calculated (= 3.1) and applied to reRate_{vegetative} of *E. repens* to estimate the recRate_{ghost} of *E. repens*.

3 valeurs

Multiplication végétative spontanée (*ramet recruitment*)

Littérature – Observations de terrain



Seuil de biomasse de stockage pour déclencher la repousse d'un ramet
→ Dépend du **stade de la plante** (motif saisonnier)



Table S7. Summary table for ramet recruitment rates for *Cirsium arvense* and *Elymus repens*.

Species	Recruitment rate	Value (nb ramet · g ⁻¹)*	Reference for calculation
<i>Cirsium arvense</i>	recRate _{ghost}	0.16	Calculated based <i>C. arvense</i> data (Neeser 1992)
	recRate _{vegetatif}	0	
	recRate _{postmat}	0	
<i>Elymus repens</i>	recRate _{ghost}	0.81	Deduced from field observation in literature (Palmer 1958)
	recRate _{vegetatif}	0.26	
	recRate _{postmat}	0	

Plantes « fantômes » (*ghost*)

→ **Survie des plantes via les organes de stockage**

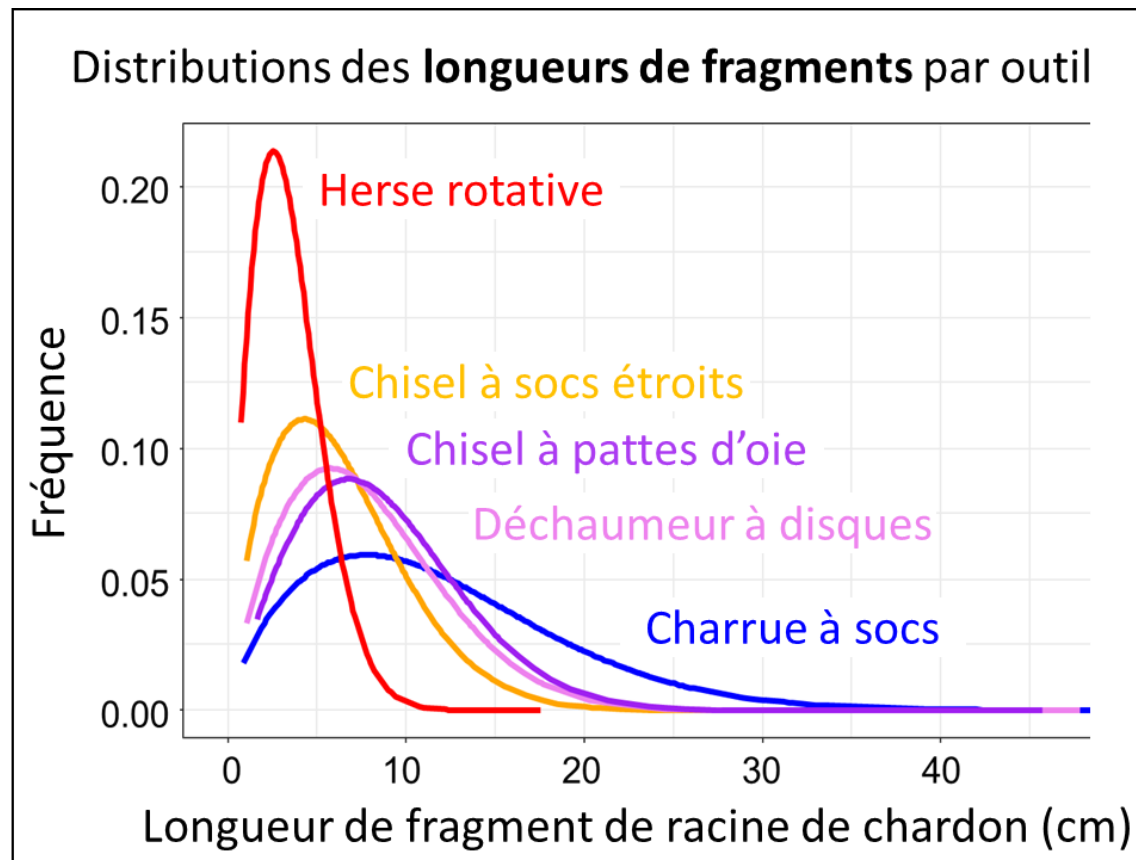
*shoot per g dry weight of storage organ

**the ratio between recRate_{ghost} and reRate_{vegetative} of *C. arvense* was calculated (= 3.1) and applied to reRate_{vegetative} of *E. repens* to estimate the recRate_{ghost} of *E. repens*.

Effet mécanique des outils de travail du sol sur les organes de stockage

1. Fragmentation des organes – prédire la taille des fragments

Expérimentations au champ : mesure de la longueur des fragments de racines traçantes de chardon, collectés après le passage d'outils (5 outils, 1 passage par outil)



$$y = fLa \cdot fLb \cdot x^{(fLb-1)} \cdot e^{(-fLa \cdot x^{fLb})}$$

Equation à deux paramètres (fLa , fLb)

↳ dépendent des outils
(mais pas de l'espèce)



➡ **Tirages aléatoires** de longueurs de fragments ; le nombre de fragment dépend de la quantité de biomasse fragmentée (profondeur de travail)

Skorupinski et al. 2024 *Soil & Tillage Research*

Skorupinski et al. 2025 *Innovations agronomiques*

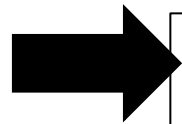
Effet mécanique des outils de travail du sol sur les organes de stockage

1. Fragmentation des organes – prédire la taille des fragments
2. Enfouissement des fragments – prédire la profondeur des fragments

Recyclage de formalismes pré-existants de FLORSYS : utilisation des matrices de mouvement des mottes de terre et des semences dans le sol

Colbach et al. 2000

Roger-Estrade et al. 2001



La profondeur d'enfouissement dépend de l'outil, de la profondeur de travail et du type de sol

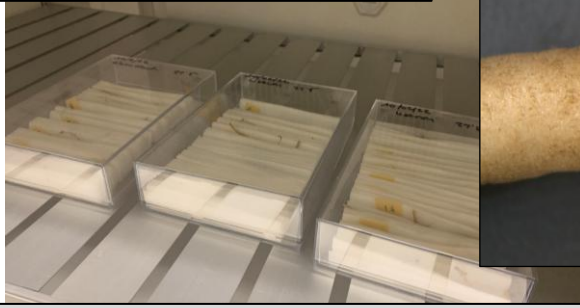
Repousse des tiges souterraines à partir de fragments d'organes de stockage

Série d'expérimentations en serre avec des fragments de chardon et de chiendent
→ Prélèvements sur le terrain, découpage selon des catégories de taille (=>réserves)

1. Bourgeonnement des fragments

2. Élongation des tiges souterraine

Boîtes d'observation



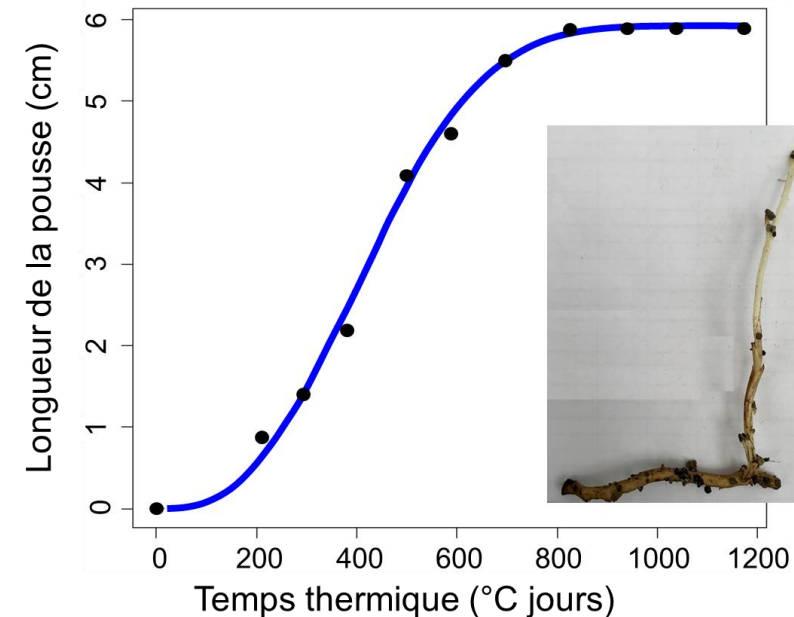
Chambres noires climatisées



Taux de bourgeonnement de selon la biomasse du fragment



Suivi de la longueur des tiges au cours du temps thermique



Dépotage/
Rempotage

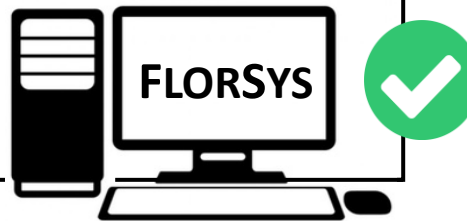


Dynamique d'élongation
Longueur maximale des tiges



Bilan sur la construction du module

Ajouté dans le code source



26 nouveaux paramètres

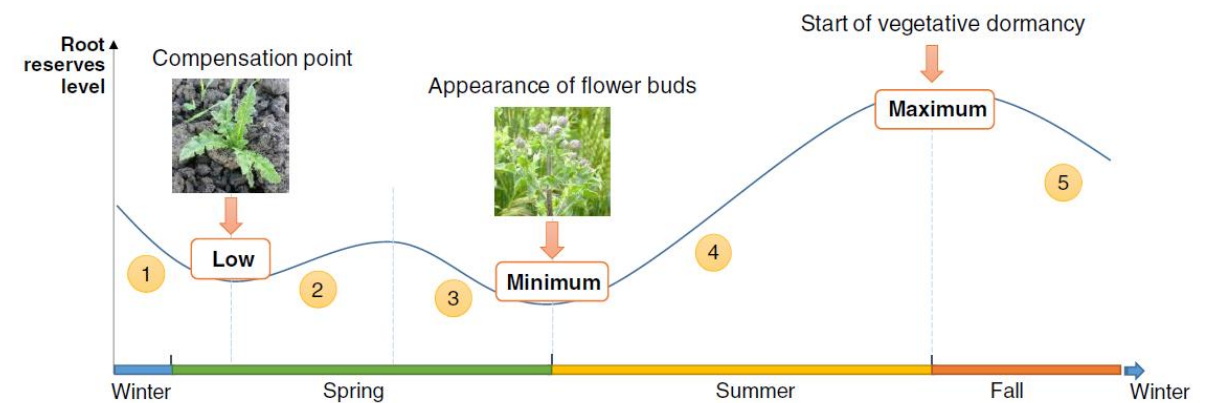
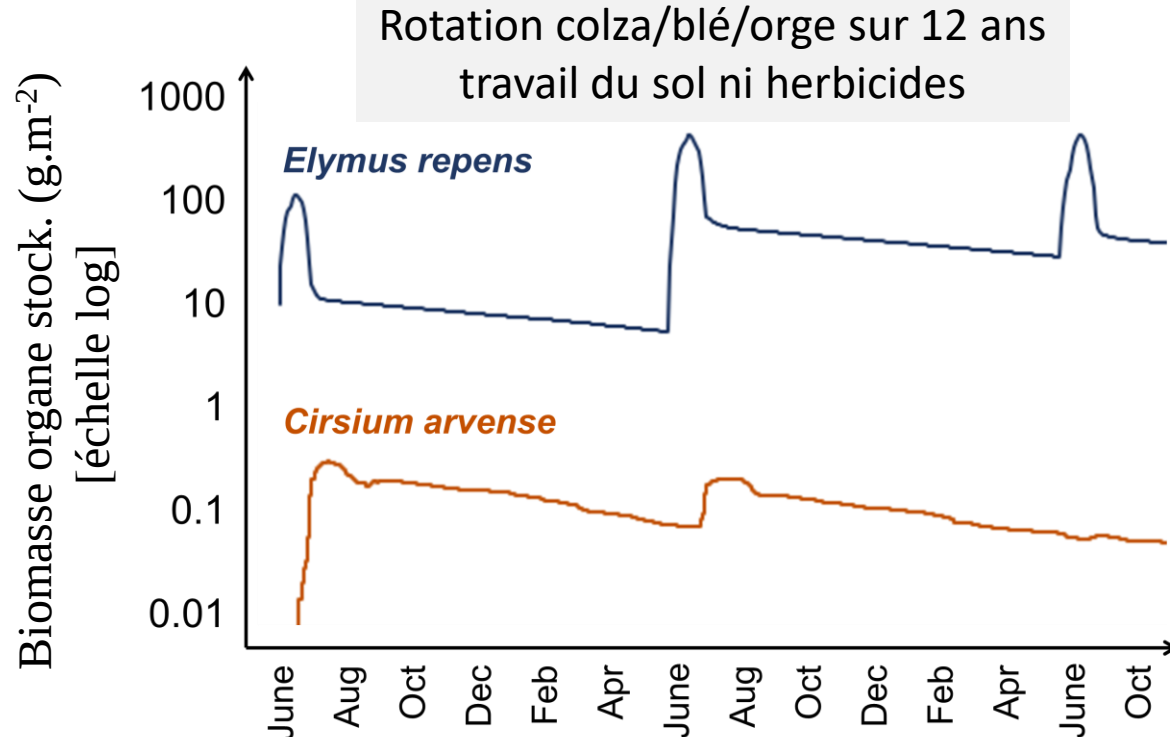
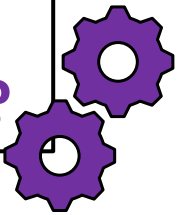
Article en finalisation

Résultats de simulations préliminaires

Premières simulations → modèle fonctionnel



Correction d'erreurs
+ Cohérence avec la littérature ?



Favrelière et al. 2020

Limites du nouveau modèles

→ Hypothèses sur les processus des vivaces

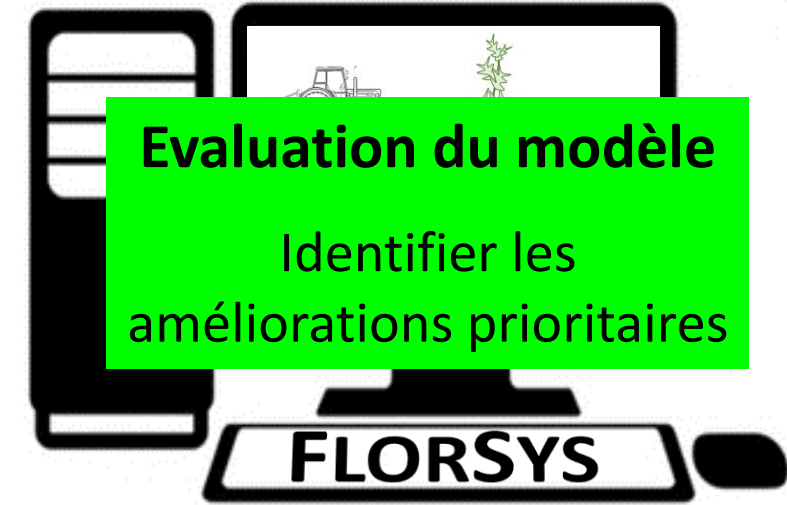
Ex : équivalence **biomasse** des organes de stockage et réserves

→ Simplifications de représentation

Ex : pas d'effet spécifique des **herbicides**

→ Manque de données pour le paramétrage

Certains formalismes $\leq$ paramètres d'une **espèce** « proche »



Perspectives d'utilisation du nouveau modèle

→ Mieux comprendre la dynamique des adventices vivaces dans les agrosystèmes

Ex : Quantifier l'**impact de travail du sol** sur l'épuisement des réserves des plantes
Impact de l'**outil** ? De la **date** de l'opération ?

→ Identifier des stratégies de gestion et des systèmes innovants

Ex : Ateliers de co-conception de systèmes de culture

Queyrel et al 2023

Références bibliographiques principales

Bourdôt, G. W., Basse, B., & Cripps, M. G. (2016). Mowing strategies for controlling *Cirsium arvense* in a permanent pasture in New Zealand compared using a matrix model. *Ecology and Evolution*, 6(9), 2968-2977. <https://doi.org/10.1002/ece3.2090>

Busset, H., Caneill, J., Mosa, B., Motton, E., Moreau, D., Colbach, N., & Skorupinski, S. (2023). Comment quantifier les effets des opérations de travail du sol sur la fragmentation des racines du chardon des champs (*Cirsium arvense*) ? COLUMA Poster session. COLUMA Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes.

Colbach, N., Colas, F., Cordeau, S., Maillot, T., Queyrel, W., Villerd, J., & Moreau, D. (2021). The FLORSYS crop-weed canopy model, a tool to investigate and promote agroecological weed management. *Field Crops Research*, 261, 108006. <https://doi.org/10.1016/j.fcr.2020.108006>

Colbach, N., Roger-Estrade, J., Chauvel, B., & Caneill, J. (2000). Modelling vertical and lateral seed bank movements during mouldboard ploughing. *European Journal of Agronomy*, 13(2-3), 111-124. [https://doi.org/10.1016/S1161-0301\(00\)00069-1](https://doi.org/10.1016/S1161-0301(00)00069-1)

Dock Gustavsson, A.-M. (1997). Growth and regenerative capacity of plants of *Cirsium arvense*. *Weed Research*, 37(4), 229-236. <https://doi.org/10.1046/j.1365-3180.1997.d01-37.x>

Donald, W. W. (1993). Root versus shoot measurements to evaluate recovery of Canada thistle (*Cirsium arvense*) after several years of control treatments. *Canadian Journal of Plant Science*, 73(1), 369-373. <https://doi.org/10.4141/cjps93-055>

Favrelière, E., Ronceux, A., Pernel, J., & Meynard, J.-M. (2020). Nonchemical control of a perennial weed, *Cirsium arvense*, in arable cropping systems. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, 40(4), 31. <https://doi.org/10.1007/s13593-020-00635-2>

Heimann, B., & Cussans, G. W. (1996). The importance of seeds and sexual reproduction in the population biology of *Cirsium arvense*—A literature review. *Weed Research*, 36(6), 493-503. <https://doi.org/10.1111/j.1365-3180.1996.tb01678.x>

Neeser, C. (1992). *Rhizome bud production and growth characteristics of clonal colonies in two biotypes of quackgrass* [Master of Science]. McGill University.

Palmer, J. H. (1958). Studies in the behaviour of the rhizome of *Agropyron repens* (L.) Beauv. : I. The seasonal development and growth of the parent plant and rhizome. *New Phytologist*, 57(2), 145-159. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.1958.tb05301.x>

Pointurier, O., Moreau, D., Pagès, L., Caneill, J., & Colbach, N. (2021). Individual-based 3D modelling of root systems in heterogeneous plant canopies at the multiannual scale. Case study with a weed dynamics model. *Ecological Modelling*, 440, 109376. <https://doi.org/10.1016/j.ecolmodel.2020.109376>

Queyrel, W., Van Inghelandt, B., Colas, F., Cavan, N., Granger, S., Guyot, B., Reau, R., Derrouch, D., Chauvel, B., Maillot, T., & Colbach, N. (2023). Combining expert knowledge and models in participatory workshops with farmers to design sustainable weed management strategies. *Agricultural Systems*, 208, 103645. <https://doi.org/10.1016/j.agry.2023.103645>

Ringselle, B., Oliver, B. W., Berge, T. W., Sundheim Fløistad, I., Berge, L., & Brandsæter, L. O. (2021). Dry weight minimum in the underground storage and proliferation organs of six creeping perennial weeds. *Weed Research*, 61(3), 231-241. <https://doi.org/10.1111/wre.12476>

Roger-Estrade, J., Colbach, N., Leterme, P., Richard, G., & Caneill, J. (2001). Modelling vertical and lateral weed seed movements during mouldboard ploughing with a skim-coulter. *Soil and Tillage Research*, 63(1-2), 35-49. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(01\)00229-X](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(01)00229-X)

Skorupinski, S. (2024). Modélisation du cycle de vie des adventices vivaces en interaction avec les systèmes de culture pour l'identification de leviers de gestion agroécologiques [Doctorat de Sciences agronomiques, Université de Bourgogne Franche-Comté (COMUE)].

https://theses.hal.science/tel-04923036/file/137294_SKORUPINSKI_2024_archivage.pdf

Skorupinski, S., Busset, H., Caneill, J., Moreau, D., Mosa, B., Colbach, N., & Motton, E. (2025). Effets des opérations de travail du sol sur la fragmentation des racines du chardon des champs (*Cirsium arvense*). *Innovations Agronomiques*, 101, 16. <https://doi.org/10.17180/ciag-2025-vol101-art02>

Skorupinski, S., Busset, H., Caneill, J., Moreau, D., Mosa, B., Motton, E., & Colbach, N. (2024). Combining a field experiment and literature to model the regrowth probability of perennial storage organs fragmented by tillage : Case study of *Cirsium arvense* (L.) Scop. *Soil & Tillage Research*, 224. <https://doi.org/10.1016/j.still.2024.106279>

Skorupinski, S., Busset, H., Matejicek, A., Motton, E., Moreau, D., & Colbach, N. (2023). Comment repoussent les adventices vivaces à partir de fragments de racines traçantes ou de rhizomes ? Etude des déterminants pour deux espèces problématiques, le chardon et le chiendent. *COLUMA Presentation*. 25ème conférence du COLUMA Journées internationales sur la lutte contre les mauvaises herbes.

Skorupinski, S., Colbach, N., Busset, H., Matejicek, A., & Moreau, D. (2024). Rhizome fragment weight and density of competing shoots determine belowground regrowth of *Elymus repens*. *Weed Research*, 64(3), 207-218. <https://doi.org/10.1111/wre.12623>

Merci pour votre attention !

