

L'ENTOMOCULTURE

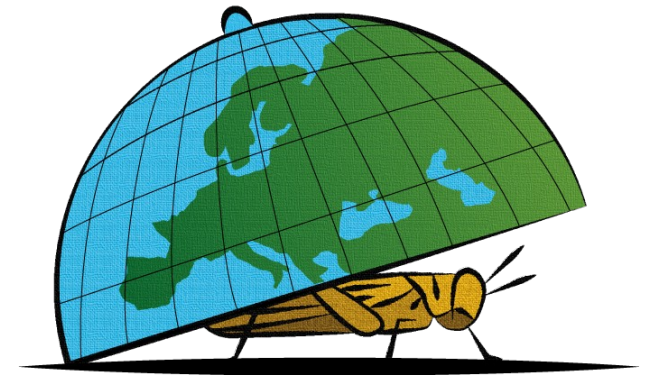
*Introduction à l'élevage d'insectes pour l'alimentation
animale et humaine*



Sébastien Collin

Sébastien Collin

- Ingénieur agronome spécialité élevage – AgroParisTech 2015
- Missions pour Jimini's & Entomo Farm (RIP)
- 2 ans chez Ynsect
- Co-fondateur du projet Criqueurs Migrateurs



LES CRIQUETS
MIGRATEURS

Plan du cours

- Pourquoi les insectes ?
 - Quels usages ?
 - Avantages de l'entomoculture
- Quels insectes pour l'élevage ?
 - Quelques bases d'entomologie
 - Profil d'une espèce intéressante
 - Quelques exemples
- Comment les élever
 - Principes généraux
 - Quelques exemples
- L'entomoculture de demain





POURQUOI LES INSECTES ?



Usages des insectes

- Pour les animaux
- Pour les humains
- En agriculture



Les insectes dans l'alimentation animale

- Pour les Nouveaux Animaux de Compagnie : insectes entiers
- Pour l'aquaculture (et les animaux de compagnie) :
 - Farine protéique
 - Huile



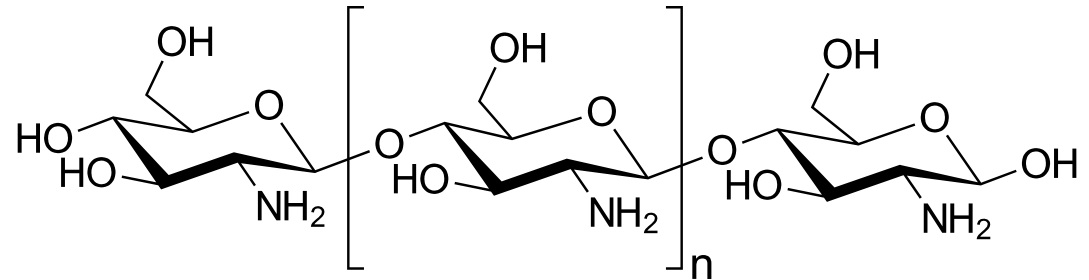
Les insectes dans l'alimentation humaine

- Insectes entiers :
 - Nature
 - Assaisonnés
 - En chocolat
- Insectes en farine :
 - Nature
 - En gâteaux
 - En barres
 - En pâtes
 - En terrines



Autres usages des insectes

- Utilisation des déjections comme fertilisant
- Le chitosane
 - Cosmétique
 - Médecine : biomatériaux
 - Protection des cultures
 - Traitement eaux usées
 - Colle industrielle



Avantages de l'élevage d'insectes

- Pour la planète
- Pour la santé
- Pour le portefeuille
- Pour l'éthique
- Pour la gastronomie



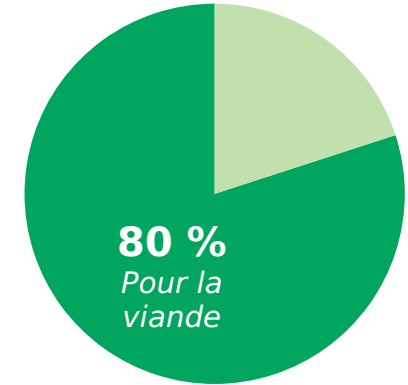
Impact environnemental de la production de viande

- Le chiffre clé : **9 milliards d'êtres humains en 2050.**
- Production de viande = 18 % des GES
- Demande en viande x2 de 2000 à 2050
- L'aquaculture fournit 50 % des poissons
- Eau virtuelle* pour faire 1kg de...
 - ... Poulet : 2 300 litres
 - ... Porc : 3 500 litres
 - ... Bœuf : 22 000 litres

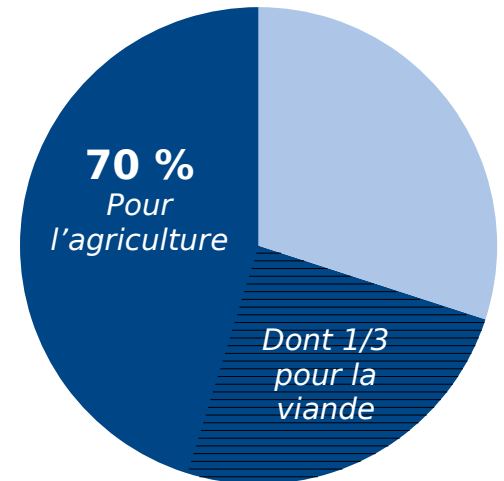
**Incluant l'eau de pluie, donc.*



Surface agricole totale

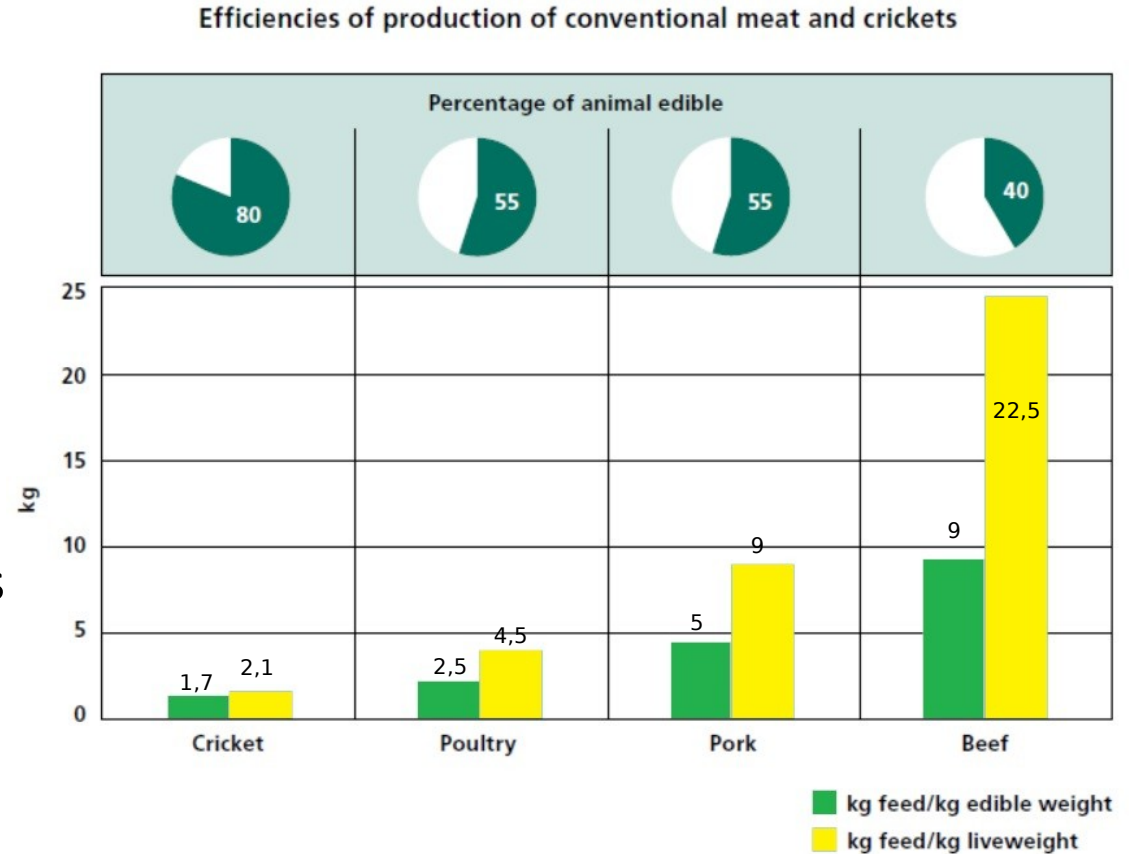


Eau douce totale



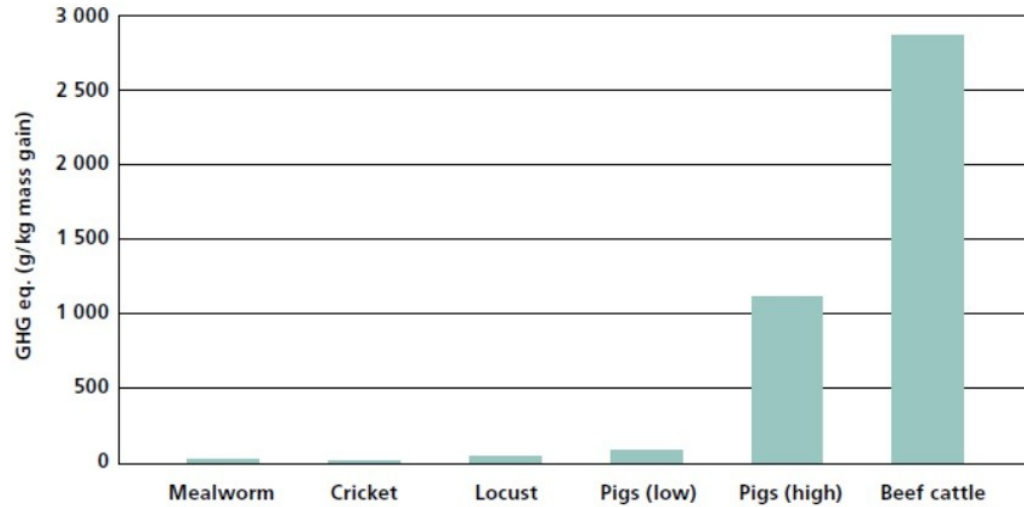
Impact environnemental de l'entomoculture

- Nourrir les insectes :
 - Bonne conversion de la nourriture
 - Valorisation de coproduits et de déchets organiques
 - Moins d'aliment => moins d'eau

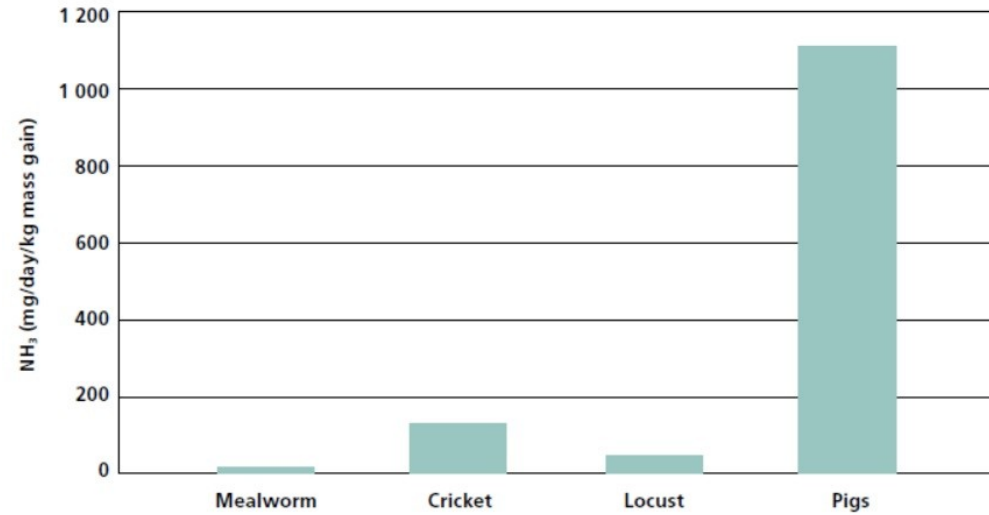


Impact environnemental de l'entomoculture

- Moins d'émissions...



... De GES*

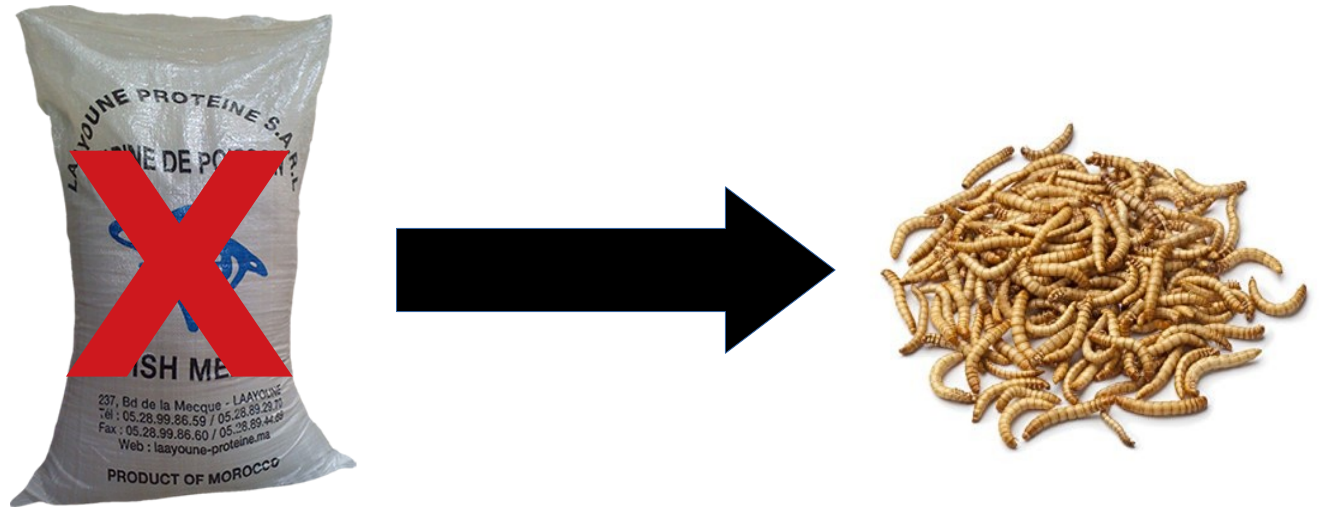


... D'ammoniac

*Sauf insecte xylophage : méthane

Impact environnemental de l'entomoculture

- Remplacement de la farine de poissons en aquaculture :
 - Farine issue de rejets de pêche au large du Pérou
 - Prix x3 en 10 ans



Qualités nutritives des insectes



- Calories plus importantes que la viande (surtout les larves)
- Protéines comparables à la viande
- Peu de graisses
- Vitamines A, B2

... Mais ça varie en fonction de l'insecte

Table 1. Median and inter-quartile range for nutrients associated with over-nutrition, including those used in the Ofcom model, in 100 g of commonly consumed meats, meat by-products (offal) and insects

Daily value ^a	N	Energy (Kcal) 2000	Nutrient content per 100 g edible portion			
			Protein (g) 50	Fat (g) 65	Saturated fat (g) 20	Sodium (mg) 2400
Beef	42	169	20.6	9.3	3.8	60
		139–218	19.2–21.6	5.1–15	2.48–6.1	52.5–66.5
Chicken	25	152	19.9	7.2	1.81	80
		127–198	18–22	4–13.9	0.8–4	69–89.5
Pork	10	186	20.1	12.4	3.5	62
		123–218	18.6–21.5	4–16.2	1.4–5.45	55.5–67.5
Offal (beef)	8	108	16.9	3.45	1	71
		92–126	15.6–18.6	2.18–5.38		28–114
Offal (chicken)	10	133	16.8	6.8	12.1	66
		110–250	10.5–18.1	3.75–19	6.4–12.9	50.5–79.5
Offal (pork)	13	108	16.9	4.15	1.2	132
		97.3–125	15.3–18.2	3.13–8.3	1.05–2.39	119–140
Cricket (adult)	8	153	20.1	5.06	2.28	152
		147–159	13.2–20.3	3.51–6.05		143–178
Honeybee (brood)	5	499	15.2	3.64	2.75	19.4
			12.3–18.1	3.27–4.52		
Silkworm (pupae)	3	128	14.8	8.26	3.45	14
		126–131	13.5–20.8	7.63–11.9	2.94–3.95	
Mopane caterpillar (final instar)	3	409	35.2	15.2	5.74	
			35.2–44.6	14.5–15.2		
Palm weevil (larvae)	15	479	9.96	25.3	9.84	11
		452–582	8.38–20.7	24.7–38	8.31–32.3	1.2–109
Mealworm (larvae)	26	247	19.4	12.3	2.93	53.7
		215–268	18.1–22.1	11.2–15.4	2.59–4.17	46.9–54.2

^aDaily values from the US Food Labelling Guide.⁴³ All are daily reference values (DRVs) with the exception of sodium, which is a recommended daily intake (RDI) value.

Impacts sur la santé

- Pas de maladies transmissibles à l'être humain (s'ils sont propres)
- Allergies : corrélation avec crustacés et acariens
- Attention : peut concentrer la pollution
- Retirez les pattes des criquets
- Favoriserait la croissance des bactéries probiotiques



Les insectes en nutrition animale

- Plus efficace que la farine de poisson pour :
 - Les truites :
 - 33 % réduction temps de croissance
 - 15 % d'aliment en moins
 - Les crevettes :
 - Améliore leur résistance aux maladies
 - Masse finale +30 %
- Aucun impact sur la qualité du produit
- « Haute digestibilité », « haute appétence » pour les animaux de compagnie



(D'après les allégations d'Ynsect)

Une opportunité de développement économique

Une ferme d'insectes, c'est :

- Potentiellement peu d'investissement initial*
- Intégrable en ville et à la campagne
- Un joli retour sur investissement

C'est donc accessible à beaucoup de gens.

*Sauf si tu t'appelles Ynsect.



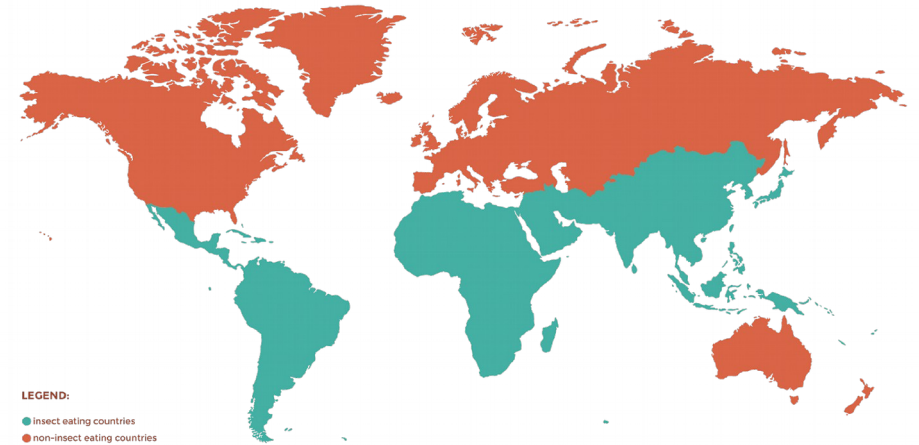
L'entomoculture et l'éthique animale

- Des conditions de bien-être facile à remplir :
 - Nourriture
 - Expression des comportements naturels
- Des méthodes d'abattage sans douleur :
 - Congélation
 - Broyage
 - Pression
- Une potentielle alternative aux aliments vertébrés



Construisons la gastronomie à six pattes de l'Europe

- Saveurs inexplorées en Europe
- Les insectes sont bien intégrés dans les cuisines de 80 % des pays du monde
- Développer une cuisine entomocole française et européenne





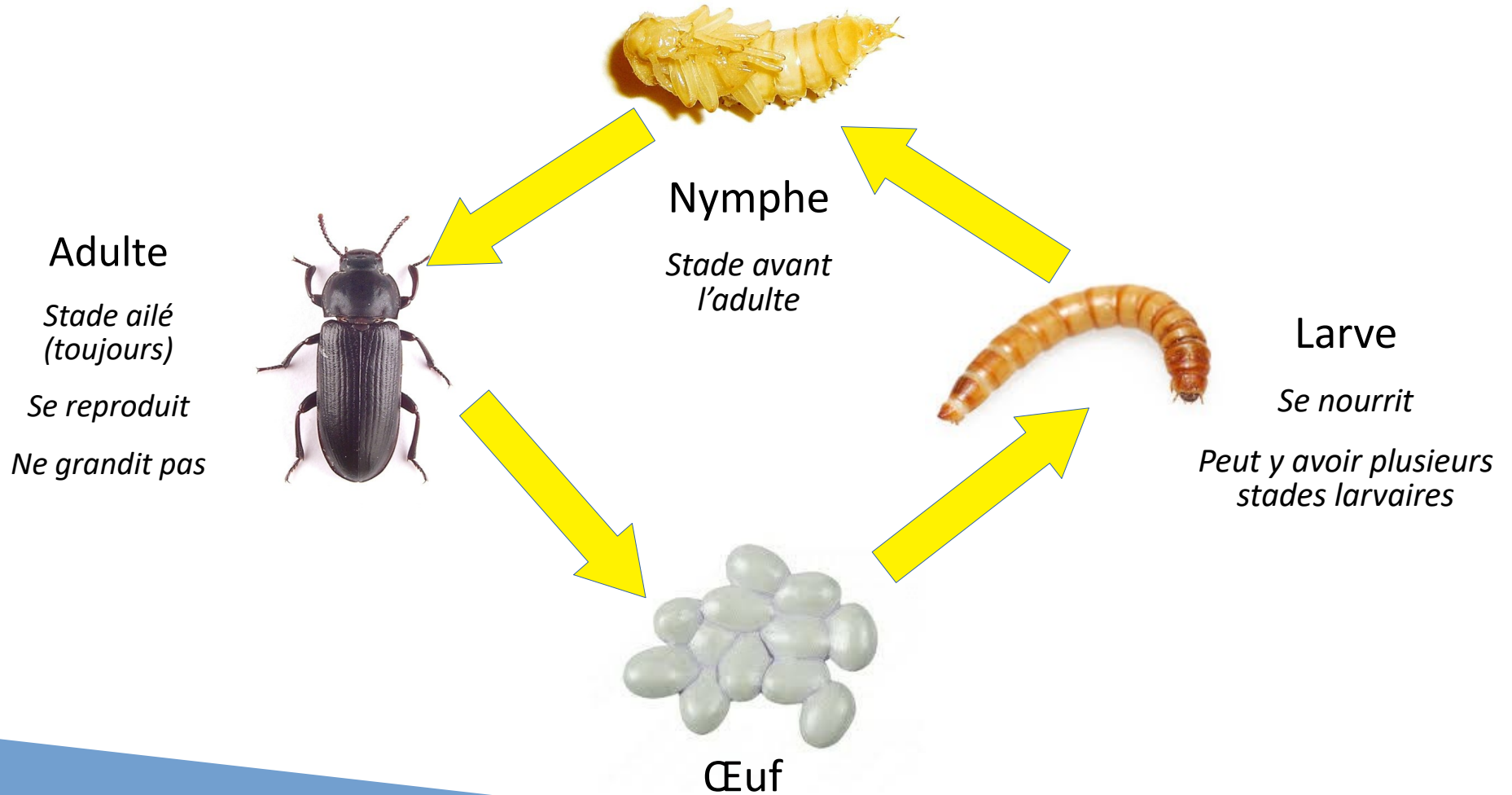
QUELS INSECTES POUR L'ÉLEVAGE ?



QUELQUES BASES D'ENTOMOLOGIE



Le cycle de vie des insectes

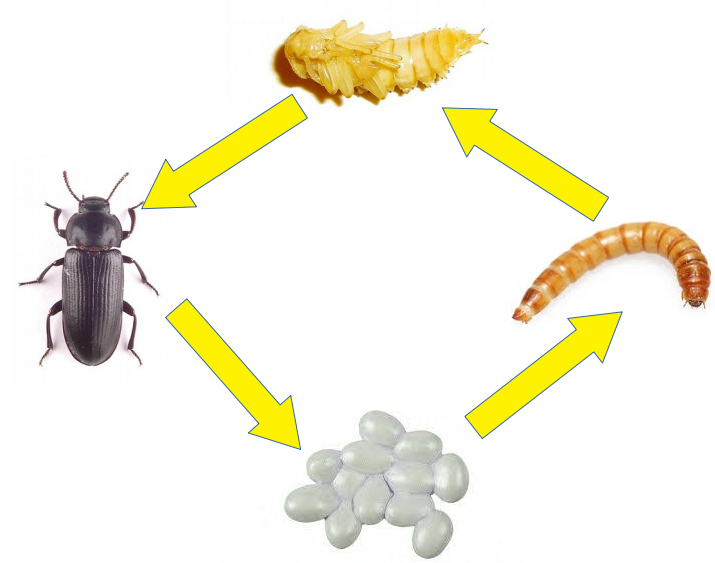


Le cycle de vie des insectes

- Développement...

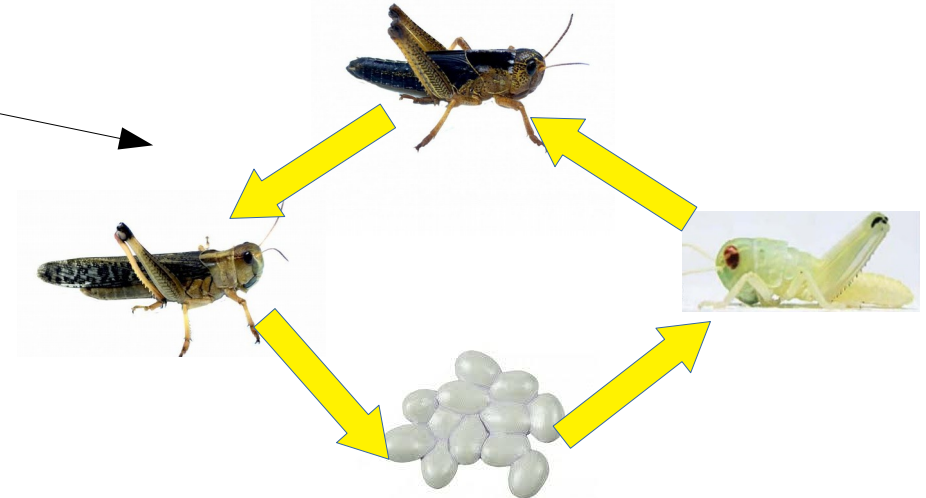
- ... Holométabole :

- Nymphes immobiles
 - La larve ne ressemble pas à l'adulte



- ... Hémimétabole :

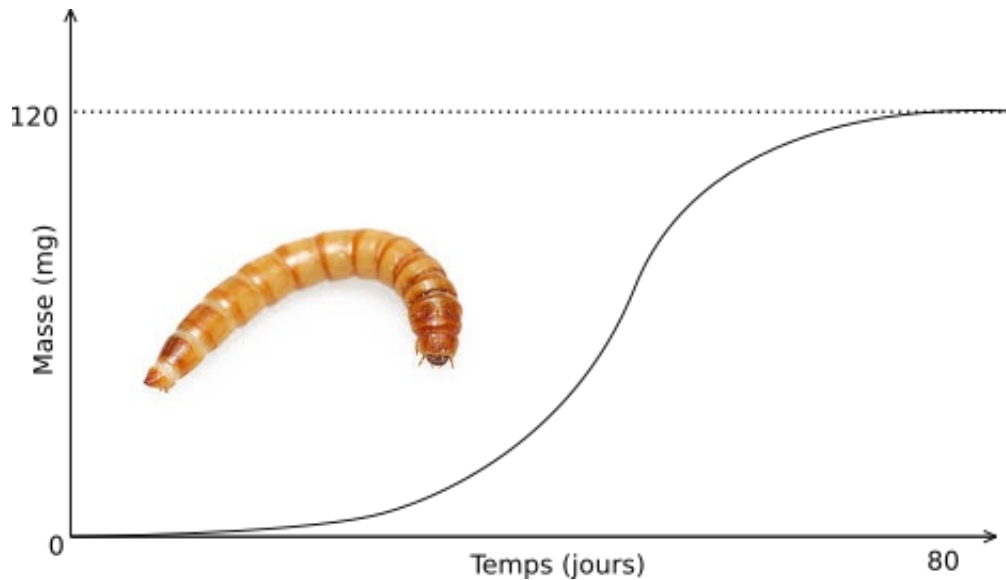
- Pas de stade immobile
 - La larve ressemble à l'adulte



Courbe de croissance

= La masse de l'insecte en fonction du temps

Exemple : courbe de croissance du ver de farine (ténébrion)



=> « **Quand** les insectes sont-ils prêts à être collectés, et **quelle masse** je collecte »

Fertilité apparente

- Nombre d'insectes pouvant être collectés par adulte reproducteur
- Exemple : si une femelle ténébrion pond 40 œufs mais que 20 larves survivent jusqu'à la collecte, la fertilité apparente est de 20 (ou de 10 si on compte les mâles)



Quelques autres notions


- Mortalité
- Densité des populations :
 - Animaux grégaires
 - Animaux solitaires
- Feed Conversion Ratio (FCR) :



$$\text{FCR} = \frac{\text{NOURRITURE INGÉRÉE}}{\text{GAIN DE MASSE}}$$

> 1

Les insectes sont ectothermes

- « À sang froid »
 - Les paramètres biologiques dépendent des conditions d'élevage :
 - Courbe de croissance
 - Fécondité apparente
 - Mortalité
 - FCR
 - Température
 - Humidité
 - Nourriture
 - Densité des populations
- 

Ok mais du coup on élève quoi ?



Quels insectes sont comestibles ?

- Près de 1 900 espèces d'insectes comestibles connues
- Majoritairement :

- Coléoptères



- Lépidoptères



- Hyménoptères



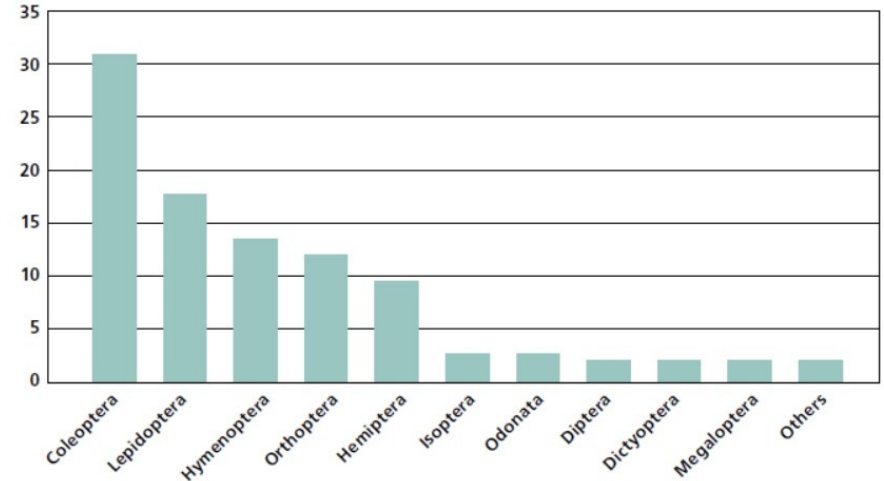
- Orthoptères



- Hémiptères



Quantités d'espèces d'insectes comestibles par ordre



Profil d'une espèce intéressante pour l'élevage

- Cycle de vie rapide
- Bonne fécondité apparente
- Densité de population élevée
- Bon FCR
- Pas difficile à nourrir
- Peu de manipulations
- Acceptabilité



On élève ou on élève pas ?

Larve de charançon

Coléoptère

Durée du cycle complet (jours)	90
Alimentation	Bois de sagoutier ou de raphia, autres palmiers ; pour les adultes : usage possible de bananes et d'aliment pour cochons
Apport d'eau	Eau versée dans les bacs
FCR	3 à 4,5
Usages	Alimentation humaine
Le produit	Larves entières



REMARQUES

- Peu mobile
- Substrat humide
- Très calorique, peu de protéines, beaucoup d'acides gras
- Parasite des palmiers

On élève ou on élève pas ?

Mygale <i>Arachnide</i>	
Durée du cycle complet	Plusieurs années
Alimentation	Insectes, petites grenouilles, lézards...
Apport d'eau	???
FCR	???
Usages	Alimentation humaine
Le produit	Araignée entière



REMARQUES

- Crochets venimeux, indispensables pour s'alimenter
- Animal solitaire
- Vit dans des terriers

On élève ou on élève pas ?

Fourmi tisserande

Hyménoptère

Durée du cycle complet	Plusieurs années
Alimentation	Mélange de riz et de poisson, parasites du manguier
Apport d'eau	Bouteilles d'eau dispersées dans le verger
FCR	???
Usages	Alimentation humaine
Le produit	Couvain, fourmis ailées, soldates, reines



REMARQUES

- Élevée dans des vergers
- Seule installation :
 - Fils tendus entre les arbres
 - Bac de nourriture
 - Bouteilles
- Un seau de nourriture par jour suffit
- Peuvent pondre en continu

On élève ou on élève pas ?

Chenille mopane <i>Lépidoptère</i>	
Durée du cycle complet	5 mois (en saison des pluies)
Alimentation	Feuilles de mopane
Apport d'eau	Aucun
FCR	???
Usages	Alimentation humaine
Le produit	Chenilles (fraîches ou séchées)



REMARQUES

- Élevée en serre et directement sur les arbres mopane
- Cycle de vie lié à la saisonnalité des arbres mopane
- Peut être vendue hors saison si séchée
- Une seule ferme au monde, au Zimbabwe

Quelques exemples...

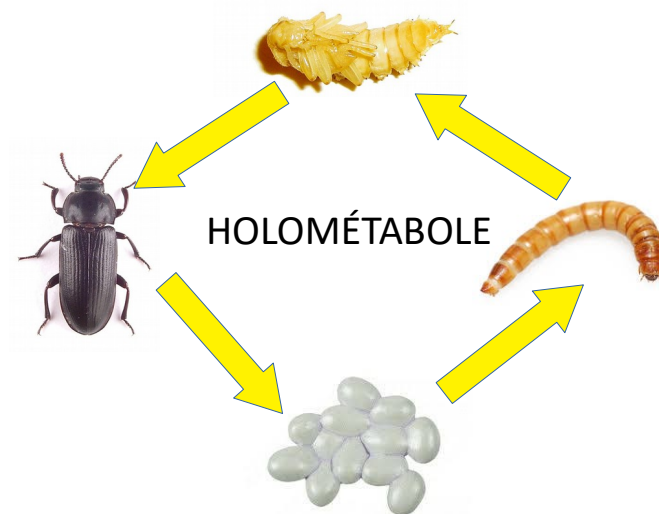
- Les insectes « légaux » pour la consommation humaine en Belgique :
 - Vers de farine (buffalo, ténébrion, morio)
 - Grillon (domestique, à ailes courtes)
 - Criquet (migrateur, pèlerin)
 - Chenille de fausse teigne (grosse, petite)
- Quelques autres espèces intéressantes :
 - Mouche soldat
 - Abeille domestique
 - Ver à soie



Ver de farine

Coléoptère

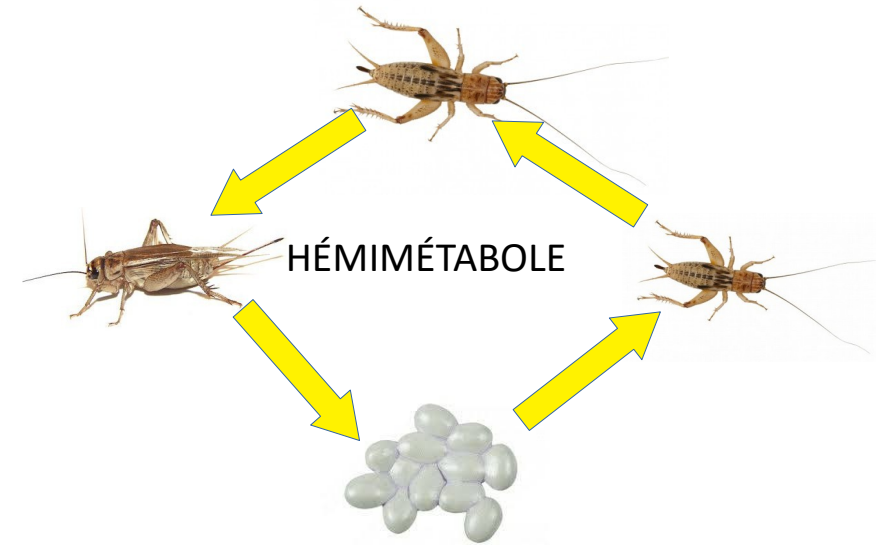
Sous-espèces	Ténébrion – Buffalo – Morio		
Durée du cycle complet (jours)	90	45	120
Alimentation	Son de blé (+ supplément levures)		
Apport d'eau	Carottes (ou épluchures)		
FCR	2,4		
Usages	Humains & Animaux (d'élevage et de compagnie)		
Le produit	Larves entières, en farine ou en huile		



REMARQUES

- Peu mobiles
- Polyvalents
- Substrat sec
- Fortes densités
- Tendances cannibales
- Les morios doivent être isolés pour la nymphose

Grillon <i>Orthoptère</i>	
Sous-espèces	Domestique – À ailes courtes
Durée du cycle complet (jours)	30 à 50
Alimentation	Son de blé, aliment pour poulet/porc, feuilles de plantes, légumes, épluchures...
Apport d'eau	Substrat imbibé d'eau (son de blé, coton, gravier...)
FCR	1,7
Usages	Humains, NACs
Le produit	De la larve à l'adulte, entier ou en farine



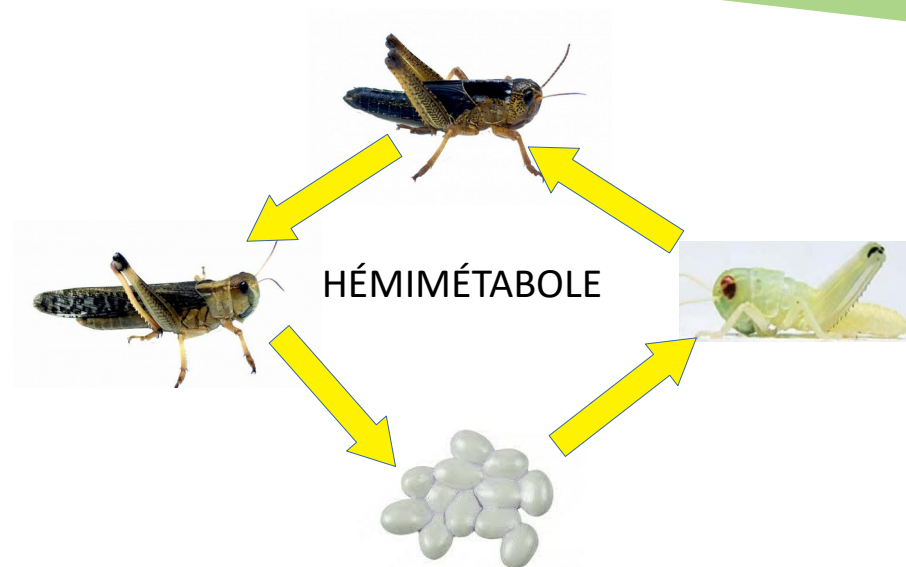
REMARQUES

- Très mobiles
- Omnivores
- Pas grégaires, mais supportent les hautes densités
- Tendances cannibales
- Cycle de vie rapide
- Excellent FCR
- Sensibles aux maladies

Criquet

Orthoptère

Sous-espèces	Migrateur – Pèlerin
Durée du cycle complet (jours)	30 à 40
Alimentation	Herbes, tiges de blé, épluchures, son de blé (adultes)...
Apport d'eau	Éponge imbibée, fruits
FCR	1,2
Usages	Humains, NACs
Le produit	De la larve à l'adulte, entier



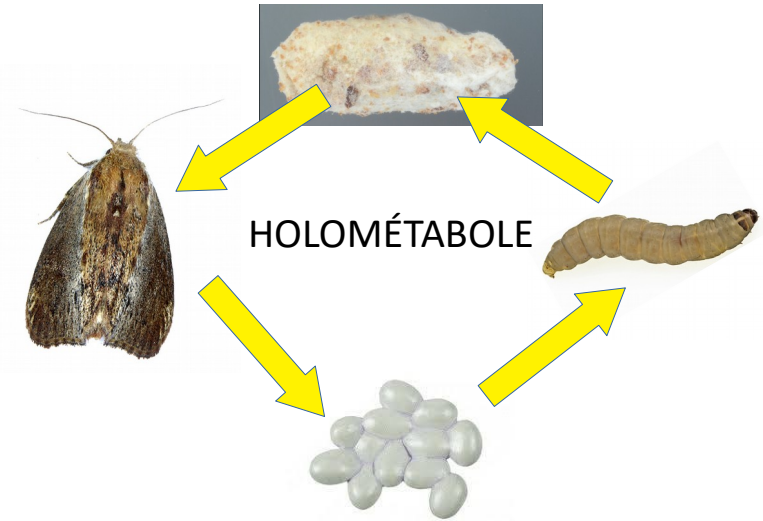
REMARQUES

- Très, TRÈS mobiles
- Cycle de vie rapide
- Meilleur FCR
- Mangent leur poids chaque jour
- Très sensibles à la température
- L'un des insectes les plus chers

Chenille de fausse teigne

Lépidoptère

Sous-espèces	Grosse – Petite
Durée du cycle complet (jours)	70
Alimentation	Son de blé, farine, cire, glycérine liquide, miel liquide
Apport d'eau	Dans le substrat
FCR	???
Usages	Humains, NACs
Le produit	Larve entière



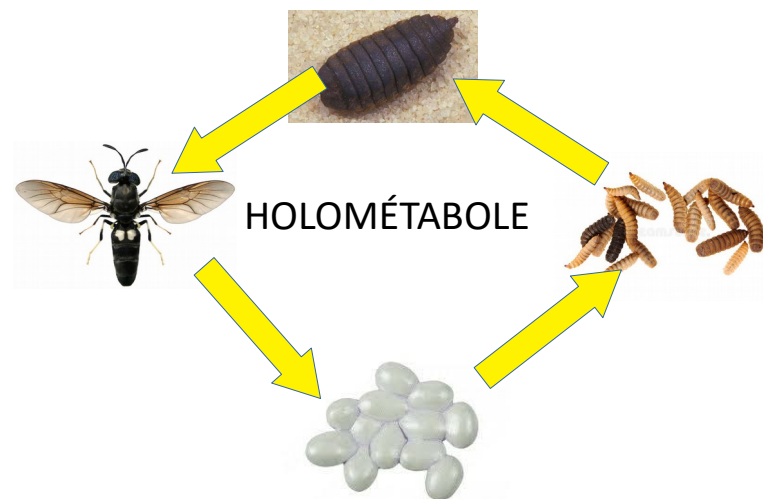
REMARQUES

- Peuvent manger du plastique
- Parasite des ruches
- Peut servir à recycler des cadres de ruches

Mouche soldat

Diptère

Durée du cycle complet (jours)	33
Alimentation	Tout ce qui est organique (dont le lisier)
Apport d'eau	Dans le substrat
FCR	3,8
Usages	Animaux d'élevage uniquement
Le produit	Pupe, entière, en farine, en huile



REMARQUES

- Pas autorisé pour l'alimentation humaine
- Extrêmement prolifique (500 œufs par femelle)
- Très résistantes
- Très hautes densités
- Digèrent les pathogènes et éloignent les concurrents

Ne les oublions pas...

Couvain d'abeille



Nymphes de vers à soie





Comment élever les insectes ?



Les ressources existantes

Où trouver les connaissances pour élever des insectes ?

- L'industrie des insectes pour les NACs
- Les communautés terrariophiles (sites, forums etc.)
- Les réflexes des aquaculteurs



Gérer son cheptel d'insectes

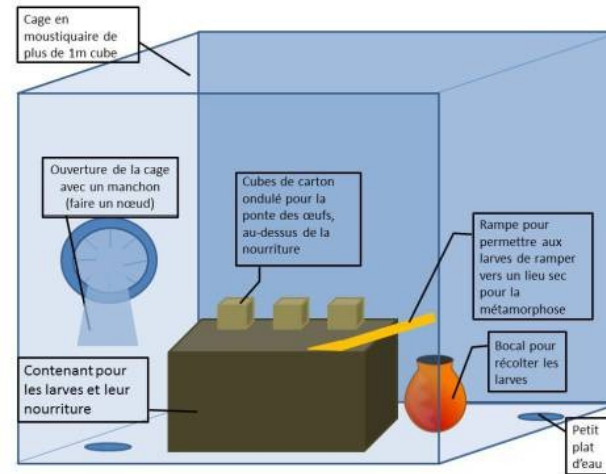
- En groupe plutôt qu'individuellement → unités d'élevages
- Regroupés par stade de développement



Tâches de base dans un élevage d'insectes

- Alimenter les insectes (nourriture / substrat, source d'eau)
- Nettoyer les bacs (retirer les morts, les déjections, les mues etc.)
- Collecter / trier les insectes :
 - Insectes prêts à être récoltés
 - Insectes à transférer dans d'autres bacs (nymphe, adultes...)
 - Œufs (changer les pondoirs)
- Nettoyer l'élevage

Quelques exemples de dispositifs d'élevage



Vers de farine

- Élevés dans des bacs plats :
 - Dans leur nourriture (substrat)
 - Empilables
 - Convient pour chaque stade
 - Le substrat contient les œufs
- Conditions d'élevage :
 - Température : 28°C
 - Éclairage optionnel
 - Densité : 1 à 2 kg par bac



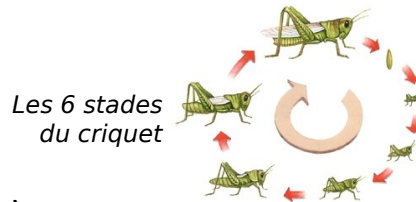
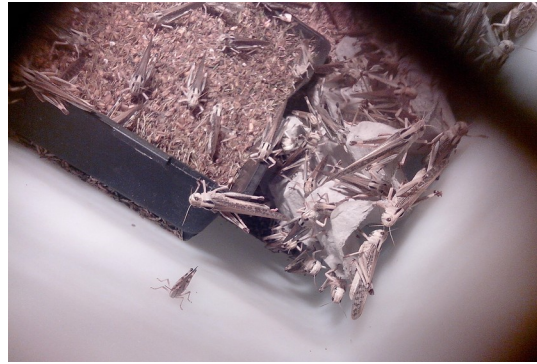
Grillons

- Élevés dans des bacs hauts :
 - Le même bac toute leur vie
 - Protégés par des filets ou un couvercle
 - Contenu :
 - Boîtes à œufs pour s'abriter
 - Gamelles de nourriture
 - Sources d'eau
 - Pondoirs pour les adultes (petits bacs remplis de tourbe)
- Conditions d'élevage :
 - Température : 25-30°C
 - Éclairage général ou individuel (12-14h)
 - Densité : 5 à 7 kg par bac



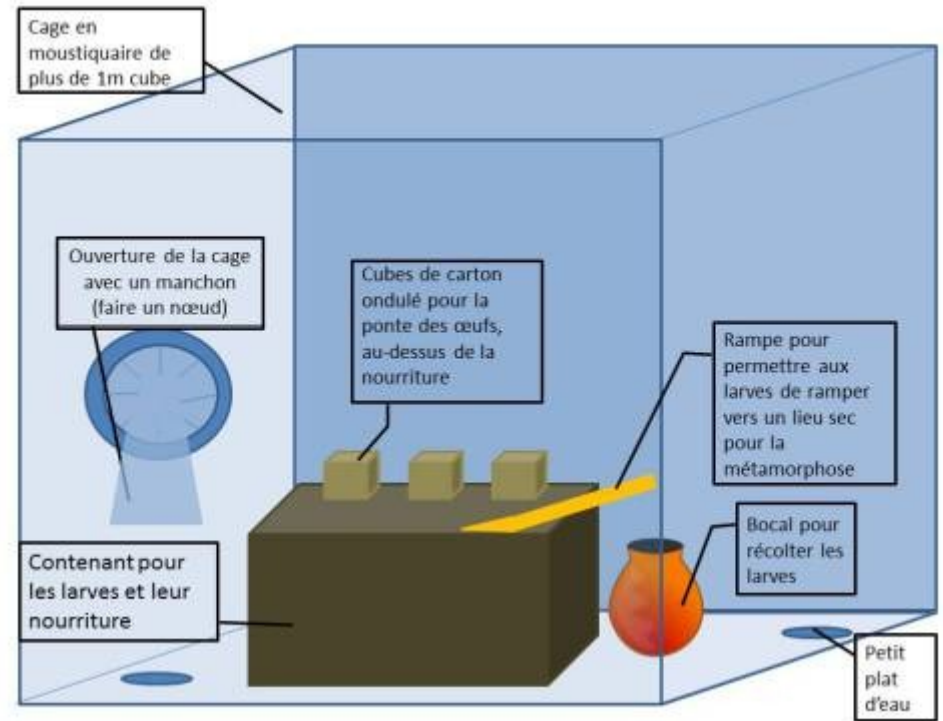
Criquets

- Élevés dans des boîtes avec moustiquaires (stades 1 à 5) et des bacs hauts (stade ailé) :
 - Séparés par stade
 - Contenu des bacs :
 - Pots de germes de blés
 - Boîtes d'œufs
 - Sources d'eau
 - Pour les adultes :
 - Pondoirs (pots de tourbe)
 - Gamelle de son de blé
- Conditions d'élevage :
 - Température : 30-32°C
 - Éclairage général ou individuel (12-14h)
 - Densité : 1 kg par moustiquaire, 3 kg par bac haut



Mouches soldat

- Élevées dans des cages en moustiquaire, avec :
 - Bac de substrat pour les larves (larvarium)
 - Rampe et bac pour la collecte des pupes
 - Cubes en carton pour la ponte
- Les larves se collectent toutes seules
- Les adultes ne vivent que quelques jours, se reproduisent, ne mangent pas et meurent
- Préférer séparer le larvarium de l'insectarium
- Conditions d'élevage :
 - Température : 25-30°C
 - Éclairer les mouches favorise la reproduction (photopériode 12-14h)



Fausses teignes

- Élevées dans des bocaux :
 - Pour tous les stades
 - PAS DE PLASTIQUE pour les larves
 - Gaze en fer pour le couvercle
 - Les larves vivent dans le substrat
- Changer les cocons de bocal
- Les papillons émergent, se reproduisent et pondent sur les parois du bocal



Différentes échelles de production



Le terrarium



L'usine automatique



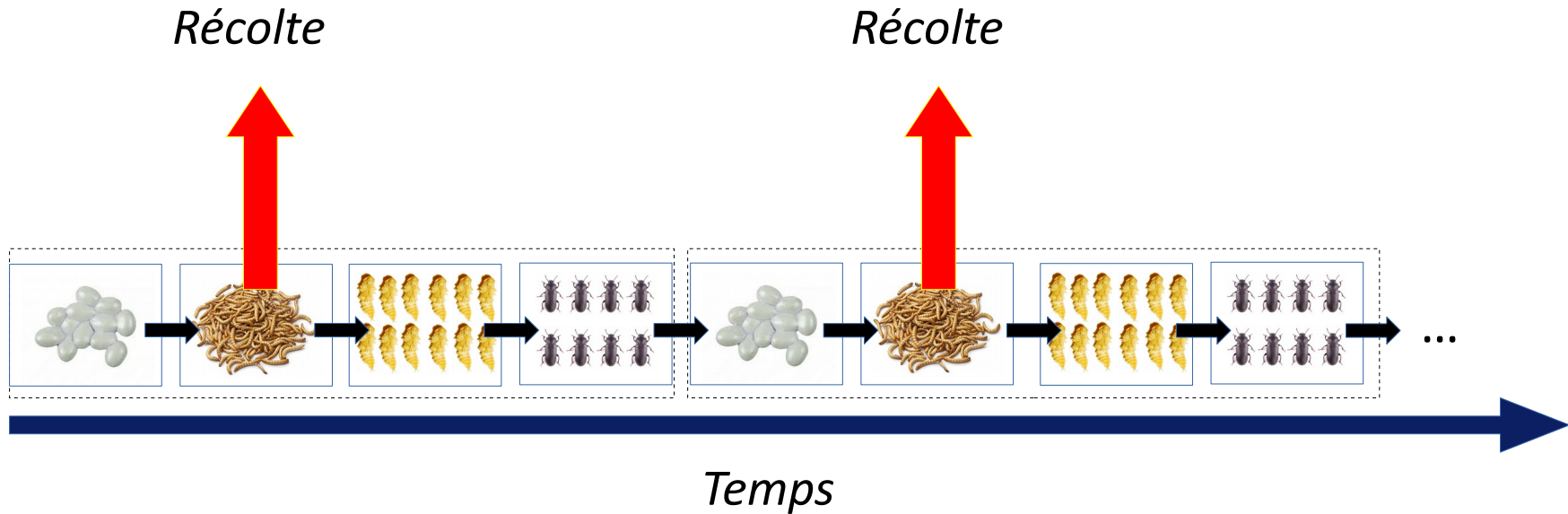
L'élevage manuel



(Le réseau d'éleveurs)

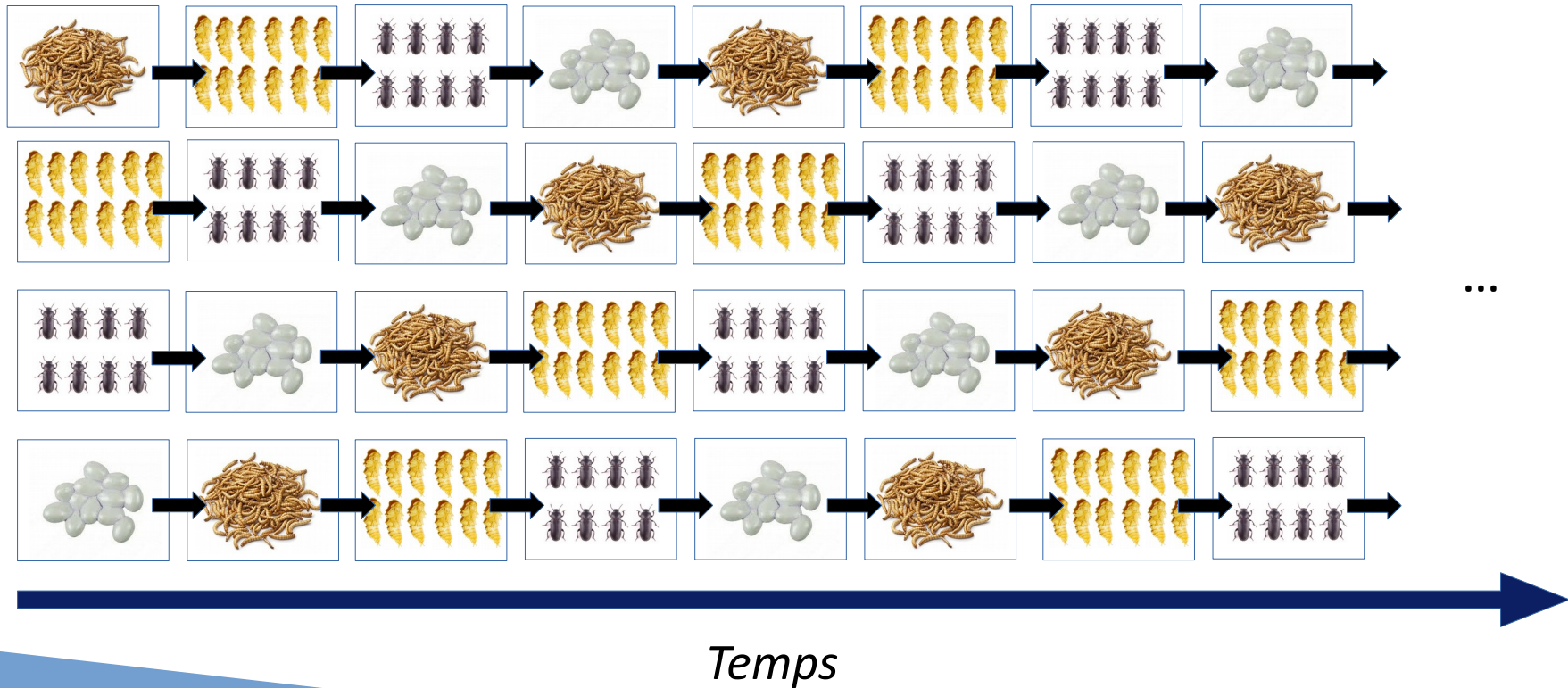
Décaler les générations pour lisser la récolte

Les générations qui s'enchaînent :



Décaler les générations pour lisser la récolte

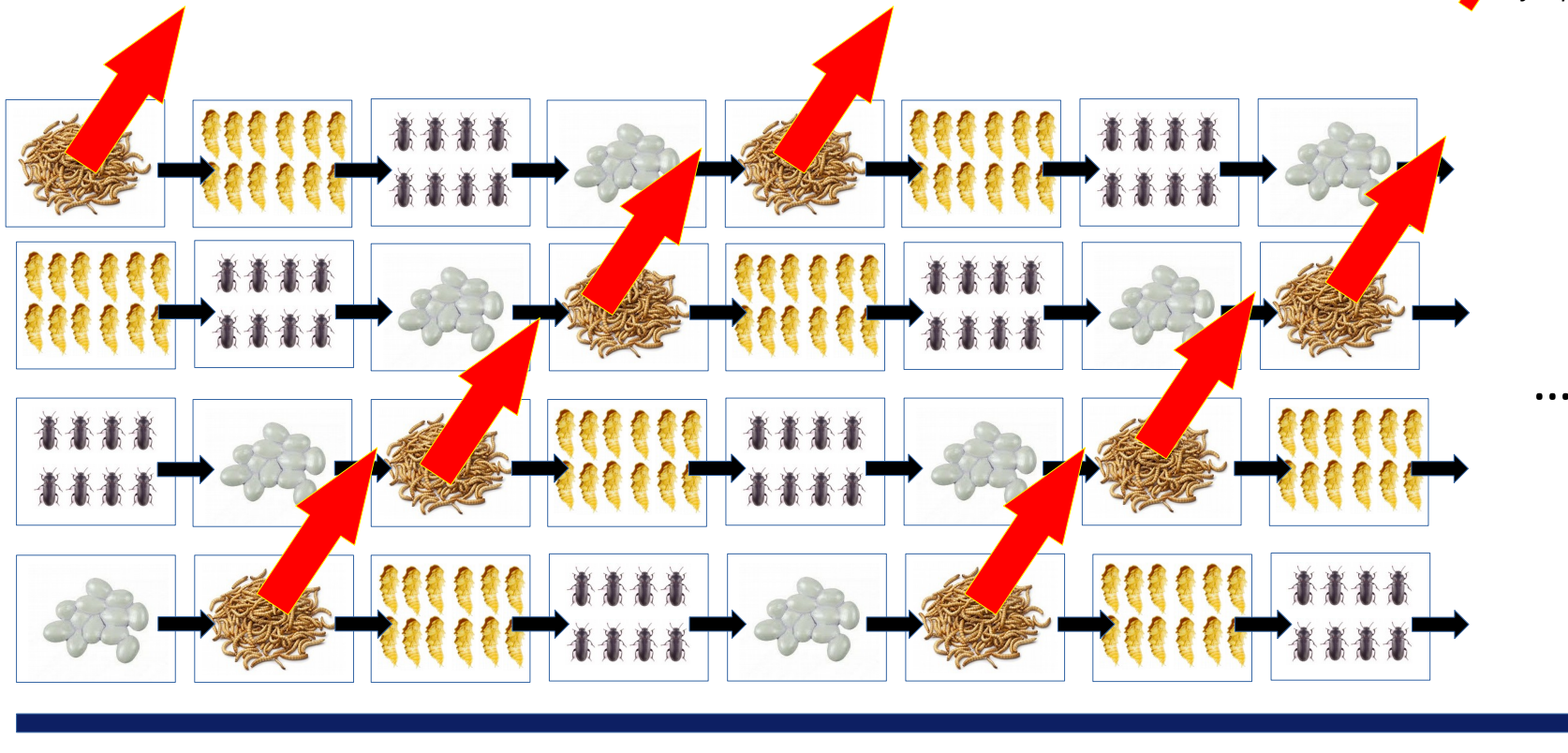
Les générations qui se superposent :



Décaler les générations pour lisser la récolte

Les générations qui se superposent :

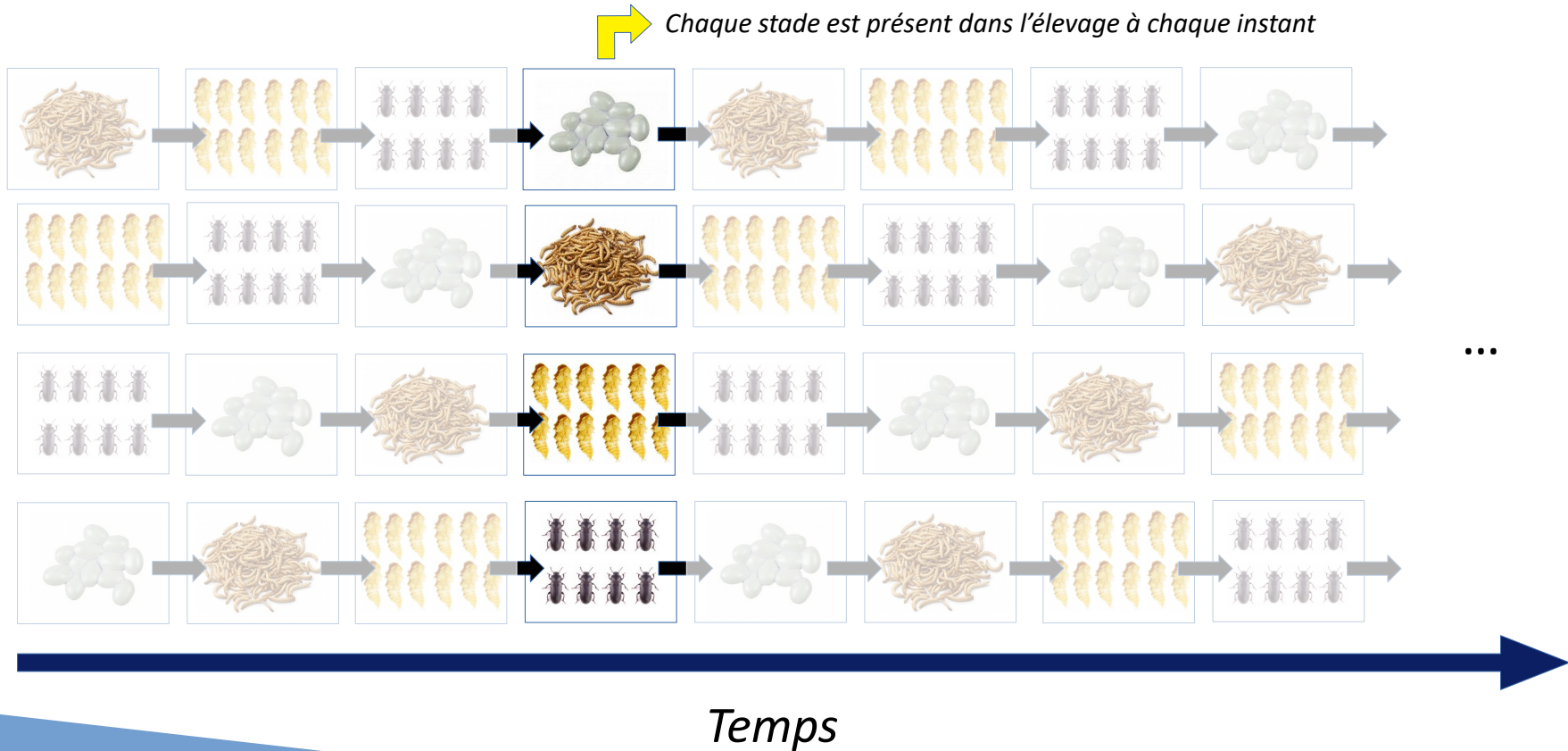
 Récoltes plus fréquentes



Temps

Décaler les générations pour lisser la récolte

Les générations qui se superposent :



Les paramètres qui influent sur la production

- **Taille de l'élevage** : plus il y a de place, plus il y a d'insectes
- **Courbe de croissance** : plus on peut collecter les insectes tôt, moins ils occupent d'espace
- **Fécondité apparente** : plus les adultes produisent des insectes, moins il en faut dans l'élevage, plus on a de place
- **Densité** : plus il y a d'insectes dans un bac, moins ils occupent d'espace... Mais attention au cannibalisme, aux problèmes de croissance, aux maladies, aux dos des employés etc.

Remarques :

- La **mortalité** a moins d'impact que ces paramètres (sauf accident majeur)
- La courbe de croissance et la fécondité apparente dépendent des **conditions d'élevage** (T°C, RH, feed, densité)

Hygiène et sécurité

- Attention aux intrants : métaux lourds, pesticides, risques microbiologiques...
- Contaminants extérieurs → Double enceinte de sécurité + équipement adapté (blouses, gants, charlottes, surchausses, masques etc.)
- Risque de développement d'allergies ou d'asthme → Équipement adapté
- Bien aérer et nettoyer les locaux
- Nettoyer l'équipement pour réduire les risques de propagation de maladies
- Attention aux atmosphères trop humides

Les enjeux de l'entomoculture de demain



Acceptation



Légalisation



Conception de
systèmes durables

Accepter les insectes

- Animaux : les insectes font partie de leurs régimes naturels
- Humains : arguments nutritionnels et environnementaux
- Mais si ce n'est pas bon, personne n'en mangera



Sortir de Koh Lantah et de la « nourriture du futur » pour commencer à construire la gastronomie entomocole française



Développer l'offre

- Les snacks c'est bien, les repas c'est mieux
- Gamme d'insectes pour cuisiner
- Remplacement fonctionnel : le steak aux insectes



Un nouveau palier végétarien ?



Je mange des insectes ?

↓
OUI

Je suis entomo-végétarien ?

La légalisation pour l'alimentation humaine

- En France et en Europe : « Novel Food » → Peut être commercialisé si l'innocuité a été démontrée
- En Belgique : politique de tolérance pour les 10 espèces, mais nécessitent le Novel Food depuis le 01/01/2018

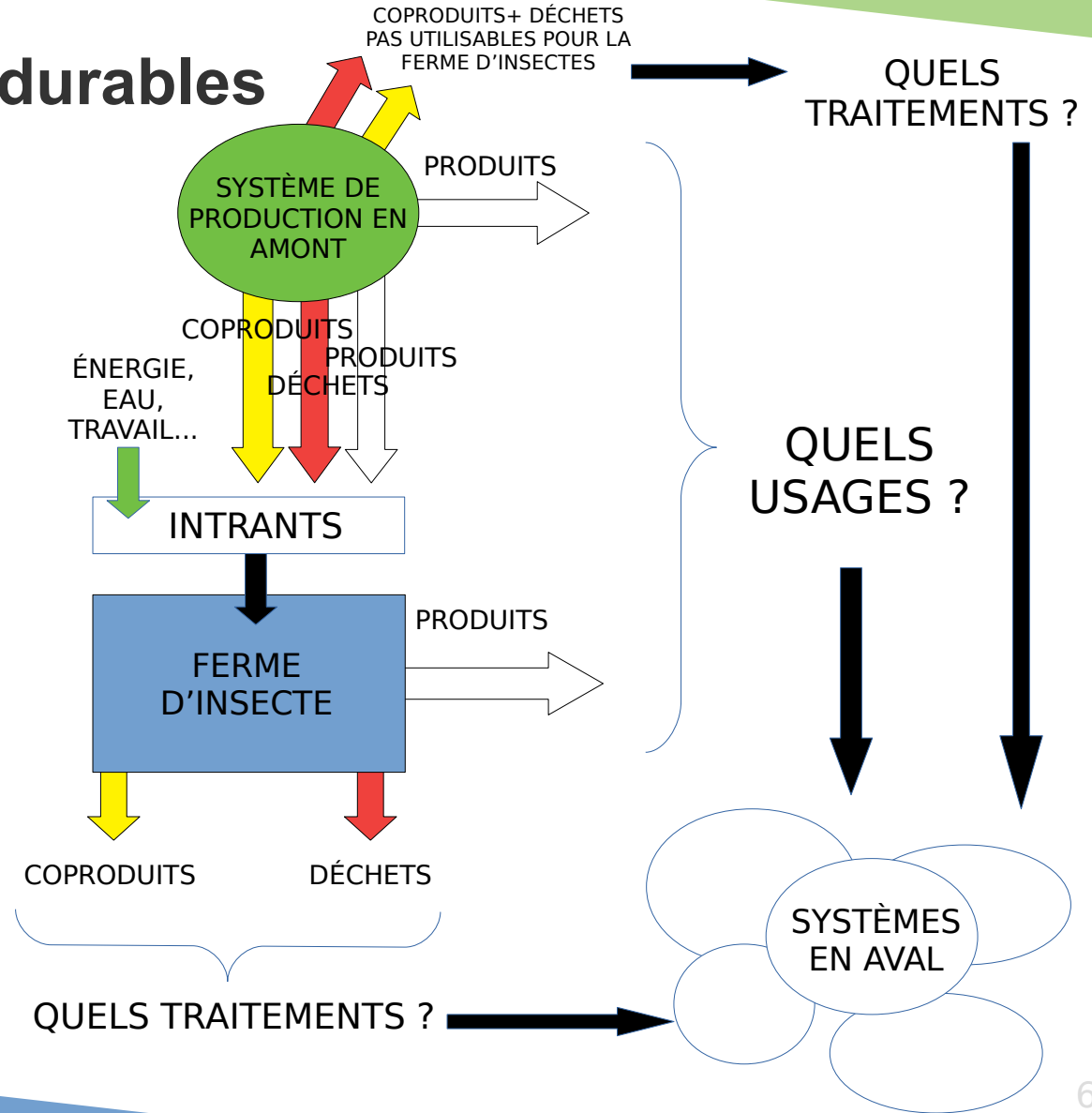


La légalisation pour l'alimentation animale

- Protéine d'insecte autorisée pour l'aquaculture, mais pas pour les poulets ou les cochons
- Nourrir ces insectes :
 - Pas de lisier ni de fumier, de déchets de cuisine et de table ni de bois traité
 - Insectes utilisés pour le traitement du fumier : pas des animaux d'élevages
 - Déchets de cuisine autorisés pour les vers d'appâts de pêche
 - Déchets de fruits et légumes autorisés si conformes à la législation communautaire

Concevoir des systèmes durables

- Louise Morris, de Rebel Foods (Tasmanie) : penser en **food systems**
- Concevoir son unité de production dans son entièreté :
 - Quels sont les intrants ? Produits / Coproduits / Déchets d'un système en amont ?
 - Quel type d'élevage ? Automatique ? Manuel ?
 - Comment sont gérés les coproduits et déchets de la ferme d'insectes ? Et ceux des systèmes en amont ?
 - Quels sont les usages de tous les produits ? Réinjection dans d'autres systèmes ? Produits finis ?



POUR CONCLURE



Pourquoi intégrer les insectes en agriculture urbaine ?



Pourquoi intégrer les insectes en agriculture urbaine ?

- Nécessitent peu de place
- Valorisation de déchets et de coproduits d'autres systèmes
- Insectes = produits finis ou intrants pour d'autres systèmes
- Valorisation de déchets et de coproduits des insectes (déjection, méthane...)
- Exploration spatiale



Les insectes, une solution miracle ?

- La production mondiale de nourriture permettrait de nourrir 10 à 12 milliards d'êtres humains
- Pas une solution **radicale**, car elle ne s'attaque pas à la **racine** du problème
- Mais *une* solution parmi un ensemble de solutions



Lectures recommandées

- Edible insects : future prospects for food and feed security (FAO)
- Des insectes au menu ? (Vincent Albouy, Jean-Michel Chardigny)
- Bugs for beginners (Michela Dai Zovi)
- The insect cookbook (Arnold Van Huis, Henk van Gurp, Marcel Dicke)
- Bugs – The Film (Nordic Food Lab)
- Collection de fiches d'élevage

