



Modélisation spatio-temporelle de la multiplication-dispersion du puceron des épis du blé à l'échelle de la France

Mamadou CISS

Mamadou.Ciss@rennes.inra.fr

Thèse CIFRE : ARVALIS-Institut du végétal

Encadrement:

Jean-Sébastien PIERRE, ECOBIO, Université Rennes 1

Charles-Antoine DEDRYVER, BIO3P, INRA

Nicolas PARISEY, BIO3P, INRA

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - Système d'équations
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur

Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

-
-
-



⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

-
-
-



⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

-
-
-



⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

-
-
-



⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

-
-
-

⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

- Jamais de traitement
-
-

⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

- Jamais de traitement
- De manière quasi-systématique
-

⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

- Jamais de traitement
- De manière quasi-systématique
- À partir d'un seuil d'infestation

⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

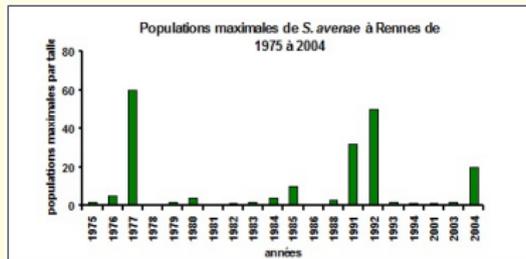
Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

- Jamais de traitement
- De manière quasi-systématique
- À partir d'un seuil d'infestation



⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

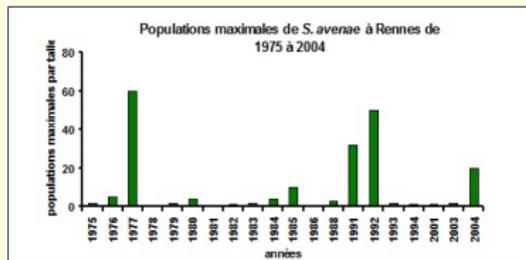
Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

- ~~Jamais de traitement~~ : très fort goût du risque
- ~~De manière quasi-systématique~~ : perte d'argent et pollution
- ~~À partir d'un seuil d'infestation~~ : perte de temps et d'argent



⇒ Prédiction des pullulations pour des traitements optimisés

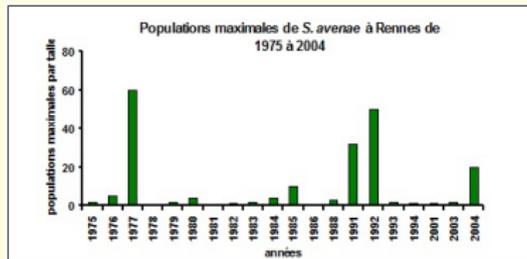
Rappels biologiques

Le puceron des épis (*Sitobion avenae*) : insecte piqueur suceur
Un ravageur occasionnellement grave du blé au printemps :

- Dégâts directs : 0 à 30q/ha
- Dégâts indirects : transmission de virus (JNO)

Stratégies d'intervention :

- ~~Jamais de traitement~~ : très fort goût du risque
- ~~De manière quasi-systématique~~ : perte d'argent et pollution
- ~~À partir d'un seuil d'infestation~~ : perte de temps et d'argent



⇒ **Prévision des pullulations pour des traitements optimisés**

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - Système d'équations
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Sitobion avenae

Les faits :

- Aptères et ailés



Sitobion avenae

Les faits :

- Parthénogénèse obligatoire : reproduction sexuée peu fréquente en Europe de l'ouest



Sitobion avenae

Les faits :

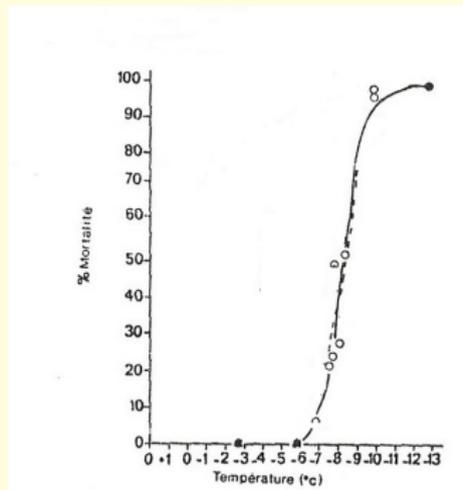
- Parthénogénèse obligatoire : reproduction sexuée peu fréquente en Europe de l'ouest



Sitobion avenae

Les faits :

- Mortalité des parthénogénétiques à partir d'une température inférieure à -10°C



Sitobion avenae

Les faits :

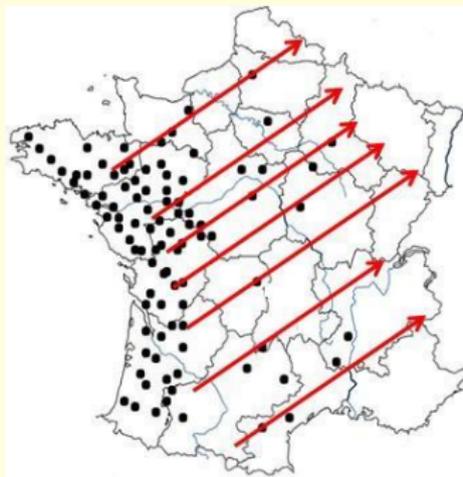
- Foyers d'hivernation d'autant plus fréquents et importants que l'hiver est doux



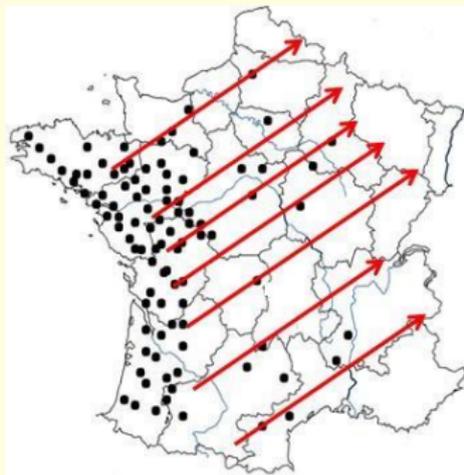
Hypothèse

Notre hypothèse

Multiplication-dispersion à partir des foyers d'hivernation et invasion des zones céréalières selon une progression SO-NE



Objectif



Notre objectif

Modélisation spatio-temporelle et déterministe du phénomène à l'échelle de la France afin d'aider à la décision de traitement

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - Système d'équations
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Réalité biologique

1 Conditions initiales

- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

1 Conditions initiales

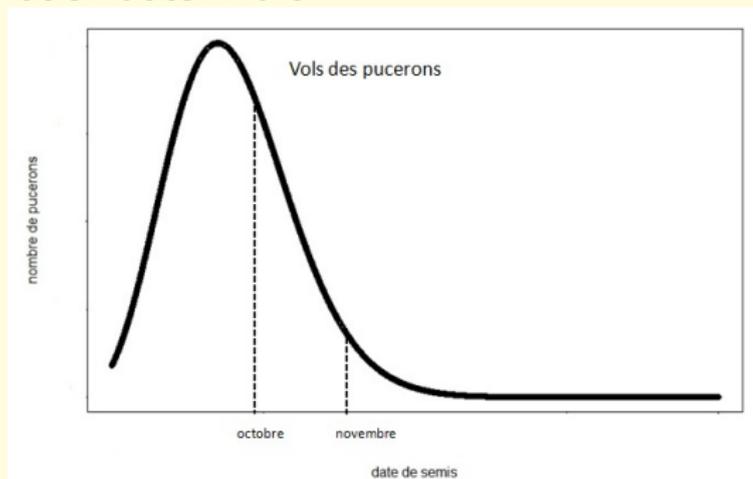
- La contamination des céréales par les pucerons ailés en automne :
f(date de semis, vols)
- La survie hivernale des pucerons et leur multiplication :
f(température)

Réalité biologique

1 Conditions initiales

- La contamination des céréales par les pucerons ailés en automne : $f(\text{date de semis, vols})$
- La survie hivernale des pucerons et leur multiplication : $f(\text{température})$

Contamination automnale



2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)

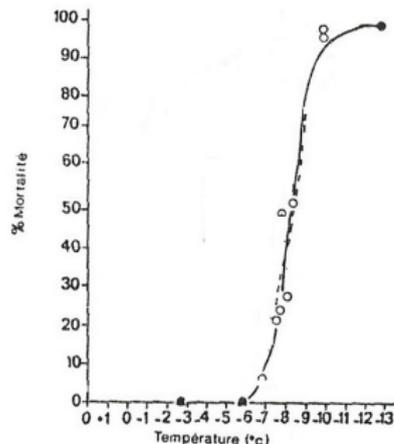
3 Mécanisme (Différentiel) de la contamination (C)

Réalité biologique

1 Conditions initiales

- La contamination des céréales par les pucerons ailés en automne : $f(\text{date de semis, vols})$
- La survie hivernale des pucerons et leur multiplication : $f(\text{température})$

Mortalité hivernale



Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
 - Ailés : pucerons en vol
 - Aptères : pucerons dans les champs
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
 - Vitesse de vent faible : vol actif
 - Vitesse de vent fort : vol passif
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
 - de la température
 - des stades phénologiques du blé
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
 - pas de données expérimentales, processus partiellement connu,...,simulations numériques
 - la proportion de céréales cultivées
 - l'auto-corrélation de patchs de céréales
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
 - pas de données expérimentales, processus partiellement connu,...,simulations numériques
 - la proportion de céréales cultivées
 - l'auto-corrélation de patchs de céréales
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
 - pas de données expérimentales, processus partiellement connu,...,simulations numériques
 - la proportion de céréales cultivées
 - l'auto-corrélation de patchs de céréales
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
 - la température
 - la densité de pucerons aptères
 - stade phénologique
- Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
 - la température
 - la densité de pucerons aptères
 - stade phénologique
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
 - la température
 - la densité de pucerons aptères
 - stade phénologique
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords



Réalité biologique

- 1 Conditions initiales
- 2 Différenciation des aptères (A) et des ailés (C)
- 3 Vol actif (Diffusion) et vol passif (Convection)
- 4 Taux d'accroissement (r) des aptères
- 5 Coefficient d'atterrissage (α_1)
- 6 Coefficient d'envol (α_2)
- 7 Conditions aux bords

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - **Système d'équations**
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Écriture du modèle

Équations : réaction-convection-diffusion

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \lambda_v)v(t, x)\nabla_x C = \operatorname{div}(\lambda_v d(t, x)\nabla_x C) + A\alpha_2 - C\alpha_1 \\ \frac{\partial A}{\partial t} = rA + C\alpha_1 - A\alpha_2 \end{cases}$$

Description

- différenciation ailés (C) et aptères (A)
- Convection (vol passif) et diffusion (vol actif)
- Définition du taux d'accroissement
- Coefficient d'envol
- Coefficient d'atterrissage

Écriture du modèle

Équations : réaction-convection-diffusion

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \lambda_v)v(t, x)\nabla_x C = \operatorname{div}(\lambda_v d(t, x)\nabla_x C) + A\alpha_2 - C\alpha_1 \\ \frac{\partial A}{\partial t} = rA + C\alpha_1 - A\alpha_2 \end{cases}$$

Description

- différenciation ailés (C) et aptères (A)
- Convection (vol passif) et diffusion (vol actif)
- Définition du taux d'accroissement
- Coefficient d'envol
- Coefficient d'atterrissage

Écriture du modèle

Équations : réaction-convection-diffusion

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \lambda_v)v(t, x)\nabla_x C = \operatorname{div}(\lambda_v d(t, x)\nabla_x C) + A\alpha_2 - C\alpha_1 \\ \frac{\partial A}{\partial t} = rA + C\alpha_1 - A\alpha_2 \end{cases}$$

Description

- différenciation ailés (O) et aptères (A)
- Convection (vol passif) et diffusion (vol actif)
- Définition du taux d'accroissement
- Coefficient d'envol
- Coefficient d'atterrissage

Écriture du modèle

Équations : réaction-convection-diffusion

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \lambda_v)v(t, x)\nabla_x C = \operatorname{div}(\lambda_v d(t, x)\nabla_x C) + A\alpha_2 - C\alpha_1 \\ \frac{\partial A}{\partial t} = rA + C\alpha_1 - A\alpha_2 \end{cases}$$

Description

- différenciation ailés (O) et aptères (A)
- Convection (vol passif) et diffusion (vol actif)
- Définition du taux d'accroissement
- Coefficient d'envol
- Coefficient d'atterrissage

Écriture du modèle

Équations : réaction-convection-diffusion

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \lambda_v)v(t, x)\nabla_x C = \operatorname{div}(\lambda_v d(t, x)\nabla_x C) + A\alpha_2 - C\alpha_1 \\ \frac{\partial A}{\partial t} = rA + C\alpha_1 - A\alpha_2 \end{cases}$$

Description

- différenciation ailés (C) et aptères (A)
- Convection (vol passif) et diffusion (vol actif)
- Définition du taux d'accroissement
- Coefficient d'envol
- Coefficient d'atterrissage

Écriture du modèle

Équations : réaction-convection-diffusion

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \lambda_v)v(t, x)\nabla_x C = \operatorname{div}(\lambda_v d(t, x)\nabla_x C) + A\alpha_2 - C\alpha_1 \\ \frac{\partial A}{\partial t} = rA + C\alpha_1 - A\alpha_2 \end{cases}$$

Description

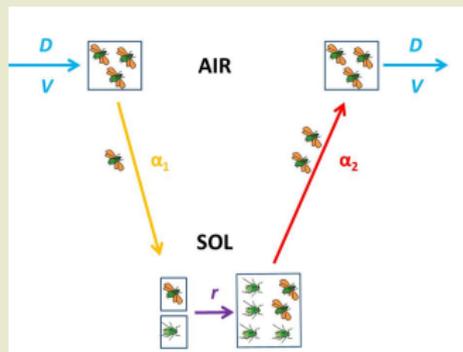
- différenciation ailés (C) et aptères (A)
- Convection (vol passif) et diffusion (vol actif)
- Définition du taux d'accroissement
- Coefficient d'envol
- Coefficient d'atterrissage

Écriture du modèle

Équations : réaction-convection-diffusion

$$\begin{cases} \frac{\partial C}{\partial t} + (1 - \lambda_v)v(t, x)\nabla_x C = \operatorname{div}(\lambda_v d(t, x)\nabla_x C) + A\alpha_2 - C\alpha_1 \\ \frac{\partial A}{\partial t} = rA + C\alpha_1 - A\alpha_2 \end{cases}$$

Description



Conditions initiales

Formulation mathématique

$$\begin{cases} C(0, x) = C_0(x) & \forall x \in \Omega \\ A(0, x) = A_0(x) & \forall x \in \Omega \end{cases}$$

Description

État initial des populations au début du printemps

Conditions aux bords

Formulation mathématique

$$\left\{ \begin{array}{l} C(t, x) = 0 \\ A(t, x) = 0 \\ \nabla_x C(t, x) \cdot \nu = 0 \\ \nabla_x A(t, x) \cdot \nu = 0 \end{array} \right.$$

Description

- Milieu marin et montagnes hautes : conditions de Dirichlet homogènes
- Frontières terrestres et reliefs traversables : conditions de Neumann homogènes

Conditions aux bords

Formulation mathématique

$$\left\{ \begin{array}{l} C(t, x) = 0 \\ A(t, x) = 0 \\ \nabla_x C(t, x) \cdot \nu = 0 \\ \nabla_x A(t, x) \cdot \nu = 0 \end{array} \right.$$

Description

- Milieu marin et montagnes hautes : conditions de Dirichlet homogènes
- Frontières terrestres et reliefs traversables : conditions de Neumann homogènes

Conditions aux bords

Formulation mathématique

$$\left\{ \begin{array}{l} C(t, x) = 0 \\ A(t, x) = 0 \\ \nabla_x C(t, x) \cdot \nu = 0 \\ \nabla_x A(t, x) \cdot \nu = 0 \end{array} \right.$$

Description

- Milieu marin et montagnes hautes : conditions de Dirichlet homogènes
- Frontières terrestres et reliefs traversables : conditions de Neumann homogènes

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - Système d'équations
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Schéma numérique EDP

- Différences finies
- Splitting d'opérateurs
 - Réaction
 - Diffusion

Schéma numérique EDP

- Différences finies
- Splitting d'opérateurs
 - Réaction
 - Diffusion

Schéma numérique EDP

- Différences finies
- Splitting d'opérateurs
 - Réaction : Runge-Kutta 4
 - Diffusion

Schéma numérique EDP

- Différences finies
- Splitting d'opérateurs
 - Réaction : Runge-Kutta 4
 - Diffusion : méthodes des directions alternées (Douglas, Peaceman, Rachford) en 2 pas

Schéma numérique EDP

- Différences finies
- Splitting d'opérateurs
 - Réaction : Runge-Kutta 4
 - Diffusion : méthodes des directions alternées (Douglas, Peaceman, Rachford) en 2 pas

Schéma numérique EDP

- Différences finies
- Splitting d'opérateurs
 - Réaction : Runge-Kutta 4
 - Diffusion : méthodes des directions alternées (Douglas, Peaceman, Rachford) en 2 pas

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - Système d'équations
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Simulations numériques du modèle

- Simulation du modèle
- Année 2004 : températures (CLIMBOX), stades phénologiques (AGROBOX) et proportion de blé (RPG)
- Avec les coefficients estimés :
 - Conditions initiales
 - Coefficient d'atterrissage
 - Coefficient d'envol
 - Diffusion
 - Pas de convection
 - Taux d'accroissement
- Gain de rendement en cas de traitement : COLIBRI®

Simulations numériques du modèle

- Simulation du modèle
- Année 2004 : températures (CLIMBOX), stades phénologiques (AGROBOX) et proportion de blé (RPG)
- Avec les coefficients estimés :
 - Conditions initiales
 - Coefficient d'atterrissage
 - Coefficient d'envol
 - Diffusion
 - Pas de convection
 - Taux d'accroissement
- Gain de rendement en cas de traitement : COLIBRI®

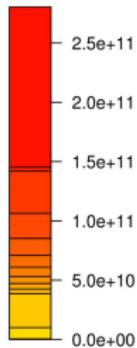
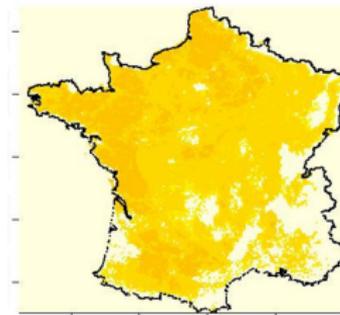
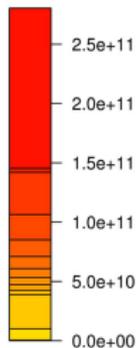
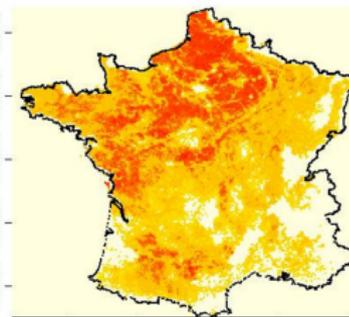
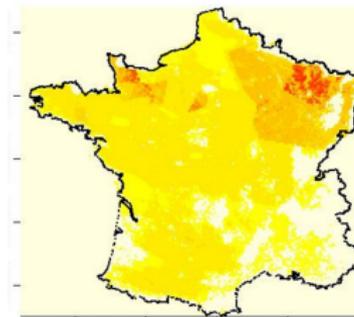
Simulations numériques du modèle

- Simulation du modèle
- Année 2004 : températures (CLIMBOX), stades phénologiques (AGROBOX) et proportion de blé (RPG)
- Avec les coefficients estimés :
 - Conditions initiales
 - Coefficient d'atterrissage
 - Coefficient d'envol
 - Diffusion
 - Pas de convection
 - Taux d'accroissement
- Gain de rendement en cas de traitement : COLIBRI®

Simulations numériques du modèle

- Simulation du modèle
- Année 2004 : températures (CLIMBOX), stades phénologiques (AGROBOX) et proportion de blé (RPG)
- Avec les coefficients estimés :
 - Conditions initiales
 - Coefficient d'atterrissage
 - Coefficient d'envol
 - Diffusion
 - Pas de convection
 - Taux d'accroissement
- Gain de rendement en cas de traitement : COLIBRI®

Dynamique des pucerons

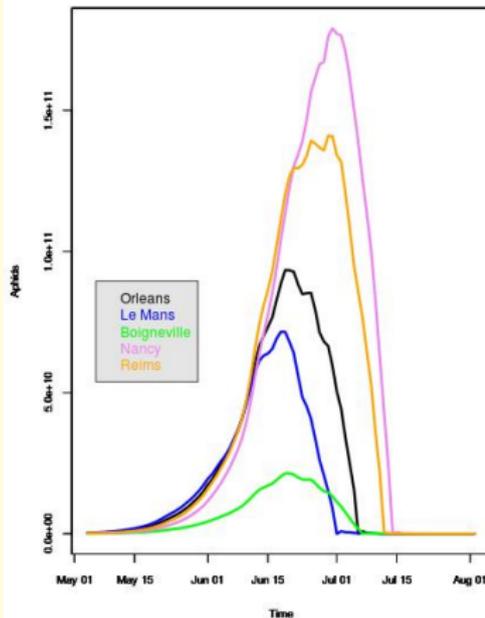
a Aphid population dynamics: 2004-03-31**b** Aphid population dynamics: 2004-05-22**c** Aphid population dynamics: 2004-06-09**d** Aphid population dynamics: 2004-07-09

Dynamique des pucerons

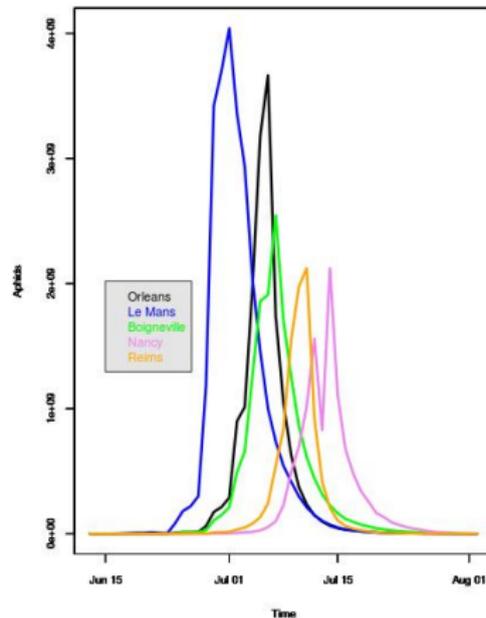
- Le Mans
- Orléans
- Boigneville
- Reims
- Nancy

Dynamique des pucerons

Apterous aphid population dynamics at 5 different places



Winged aphid population dynamics at 5 different places



Traitement

Simulations de traitements à 3 moments différents :

- Épiaison
- Floraison
- Maturité pâteuse

Traitement

Simulations de traitements à 3 moments différents :

- Épiaison
- Floraison
- Maturité pâteuse

	gain épiaison	gain floraison	gain maturité pâteuse
Orléans	0.18 t/ha	0.17 t/ha	0.01 t/ha
Boigneville	0.67 t/ha	0.64 t/ha	0.02 t/ha
Reims	0.11 t/ha	0.11 t/ha	0.0 t/ha
Nancy	0.14 t/ha	0.14 t/ha	0.0 t/ha
Le Mans	0.16 t/ha	0.15 t/ha	0.0 t/ha

Traitement

Simulations de traitements à 3 moments différents :

- Épiaison
- Floraison
- Maturité pâteuse

	gain épiaison	gain floraison	gain maturité pâteuse
Orléans	0.18 t/ha	0.17 t/ha	0.01 t/ha
Boigneville	0.67 t/ha	0.64 t/ha	0.02 t/ha
Reims	0.11 t/ha	0.11 t/ha	0.0 t/ha
Nancy	0.14 t/ha	0.14 t/ha	0.0 t/ha
Le Mans	0.16 t/ha	0.15 t/ha	0.0 t/ha

Conclusion

Conclusion

- **Simulation de DIFFAPHIDS**
- Cohérence avec notre hypothèse de départ
- Gain de rendement optimum autour de l'épiaison-floraison : cohérent avec la réalité

Ciss, M., Parisey, N., Moreau, F., Dedryver, C.-A., Pierre, J.-S., 2013. A spatio-temporal model for predicting grain aphid population dynamics and optimizing insecticide sprays at the scale of continental France. *Environmental Science and Pollution Research*, in press

Conclusion

Conclusion

- Simulation de DIFFAPHIDS
- Cohérence avec notre hypothèse de départ
- Gain de rendement optimum autour de l'épiaison-floraison : cohérent avec la réalité

Ciss, M., Parisey, N., Moreau, F., Dedryver, C.-A., Pierre, J.-S., 2013. A spatio-temporal model for predicting grain aphid population dynamics and optimizing insecticide sprays at the scale of continental France. *Environmental Science and Pollution Research*, in press

Conclusion

Conclusion

- Simulation de DIFFAPHIDS
- Cohérence avec notre hypothèse de départ
- Gain de rendement optimum autour de l'épiaison-floraison : cohérent avec la réalité

Ciss, M., Parisey, N., Moreau, F., Dedryver, C.-A., Pierre, J.-S., 2013. A spatio-temporal model for predicting grain aphid population dynamics and optimizing insecticide sprays at the scale of continental France. *Environmental Science and Pollution Research*, in press

Conclusion

Conclusion

- Simulation de DIFFAPHIDS
- Cohérence avec notre hypothèse de départ
- Gain de rendement optimum autour de l'épiaison-floraison : cohérent avec la réalité

Ciss, M., Parisey, N., Moreau, F., Dedryver, C.-A., Pierre, J.-S., 2013. A spatio-temporal model for predicting grain aphid population dynamics and optimizing insecticide sprays at the scale of continental France. *Environmental Science and Pollution Research*, in press

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - Système d'équations
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Conclusion

- État actuel du modèle
 - Modélisation déterministe spatio-temporelle
 - Écriture du modèle
 - Estimation des paramètres
 - Étude mathématique
 - Simulations numériques
- Utilisation en tant qu'Outil d'Aide à la Décision
 - Description de la dynamique de la maladie
 - Aide à la décision de traitement
- Autres utilisations de DIFFAPHIDS :
 - Dynamique épidémiologique
 - Modélisation des effets cultivables + complément alimentaire
 - Impact de la vaccination à l'échelle nationale

Conclusion

- **État actuel du modèle**
 - 1 Modélisation déterministe spatio-temporelle
 - 2 Écriture du modèle
 - 3 Estimation des paramètres
 - 4 Étude mathématique
 - 5 Simulations numériques
- Utilisation en tant qu'Outil d'Aide à la Décision
 - 1 Description de la dynamique des 21 espèces
 - 2 Analyse de sensibilité du modèle
- Autres utilisations de DIFFAPHIDS :
 - 1 Évaluation épidémiologique
 - 2 Modélisation de l'impact des mesures de lutte contre la maladie
 - 3 Évaluation des conséquences de scénarios d'implantation

Conclusion

- État actuel du modèle
 - 1 Modélisation déterministe spatio-temporelle
 - 2 Écriture du modèle
 - 3 Estimation des paramètres
 - 4 Étude mathématique
 - 5 Simulations numériques
- Utilisation en tant qu'Outil d'Aide à la Décision
 - Description de la dynamique de *S. avenae*
 - Aide à la décision de traitement
- Autres utilisations de DIFFAPHIDS :
 - Évaluation de stratégies de lutte
 - Évaluation de l'impact des mesures de lutte
 - Évaluation de l'impact des mesures de lutte

Conclusion

- État actuel du modèle
 - 1 Modélisation déterministe spatio-temporelle
 - 2 Écriture du modèle
 - 3 Estimation des paramètres
 - 4 Étude mathématique
 - 5 Simulations numériques
- Utilisation en tant qu'Outil d'Aide à la Décision
 - 1 Description de la dynamique de *S. avenae*
 - 2 Aide à la décision de traitement
- Autres utilisations de DIFFAPHIDS :

Conclusion

- État actuel du modèle
 - 1 Modélisation déterministe spatio-temporelle
 - 2 Écriture du modèle
 - 3 Estimation des paramètres
 - 4 Étude mathématique
 - 5 Simulations numériques
- Utilisation en tant qu'Outil d'Aide à la Décision
 - 1 Description de la dynamique de *S. avenae*
 - 2 Aide à la décision de traitement
- Autres utilisations de DIFFAPHIDS :
 - Scénarios climatiques
 - Modification des terres cultivables : assolement et rotation
 - Politique de prévention à l'échelle nationale

Conclusion

- État actuel du modèle
 - 1 Modélisation déterministe spatio-temporelle
 - 2 Écriture du modèle
 - 3 Estimation des paramètres
 - 4 Étude mathématique
 - 5 Simulations numériques
- Utilisation en tant qu'Outil d'Aide à la Décision
 - 1 Description de la dynamique de *S. avenae*
 - 2 Aide à la décision de traitement
- Autres utilisations de DIFFAPHIDS :
 - 1 Scénarios climatiques
 - 2 Modification des terres cultivables : assolement et rotation
 - 3 Politique de prévention à l'échelle nationale

Conclusion

- État actuel du modèle
 - 1 Modélisation déterministe spatio-temporelle
 - 2 Écriture du modèle
 - 3 Estimation des paramètres
 - 4 Étude mathématique
 - 5 Simulations numériques
- Utilisation en tant qu'Outil d'Aide à la Décision
 - 1 Description de la dynamique de *S. avenae*
 - 2 Aide à la décision de traitement
- Autres utilisations de DIFFAPHIDS :
 - 1 Scénarios climatiques
 - 2 Modification des terres cultivables : assolement et rotation
 - 3 Politique de prévention à l'échelle nationale

Plan

- 1 **Présentation du sujet**
 - *Sitobion avenae*
 - Hypothèse et objectif
- 2 **De la réalité biologique à la représentation mathématique**
 - Réalité biologique dans le modèle
 - Système d'équations
- 3 **Analyse numérique du modèle**
 - Schéma numérique
 - DIFFAPHIDS : un Outil d'Aide à la Décision
- 4 **Conclusion**
 - Conclusion
 - Perspectives

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- Météo

- Phénologie du blé

Le Système d'Informations Agricoles (SIA) permet de rassembler les données

- Prise en compte du vent

- Calculer \vec{v}

- Analyser le sonnet \vec{v} en coupe

- Caractériser les vents dominants

- Poursuivre la validation

- Validation sur données réelles

- Valider sur plusieurs années

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Le paramètre β est le plus influent

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- ① Météo
- ② Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- Calculer la vitesse du vent
- Analyser la direction du vent
- Déterminer l'impact du vent sur les cultures

- Poursuivre la validation

- Validation sur données réelles
- Validation sur données synthétiques

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

⇒ Déterminer l'impact des paramètres du modèle sur les résultats

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- ① Météo

- ② Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- ① Calculer la vitesse du vent
 - ② Adapter la hauteur de vent
 - ③ Calculer la température du vent

- Poursuivre la validation

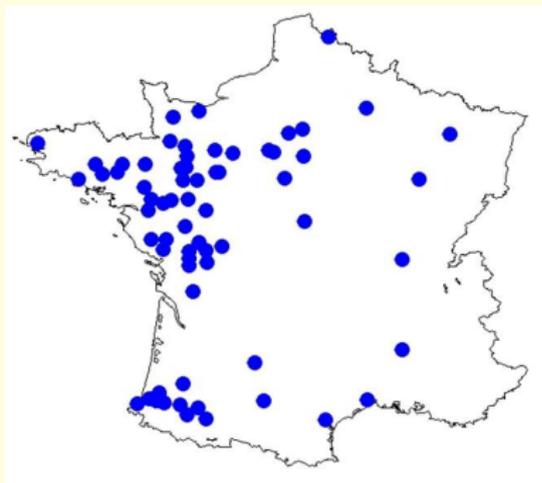
- ① Validation sur données réelles
 - ② Validation sur données synthétiques

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

- ① Paramètres du modèle
 - ② Paramètres de l'entrée

Perspectives

- Données d'entrée du modèle
 - 1 Météo
 - 2 Phénologie du blé

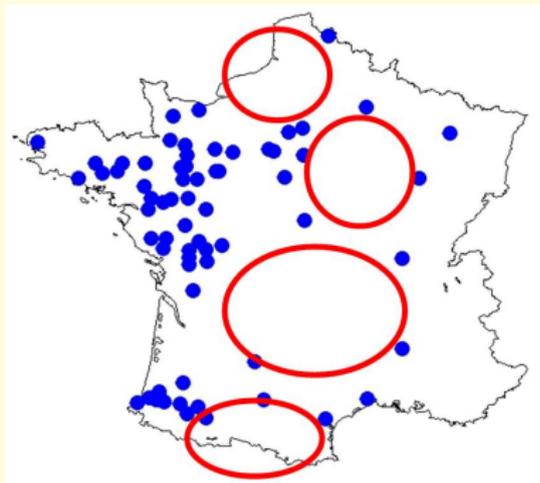


⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

Perspectives

- Données d'entrée du modèle
 - 1 Météo
 - 2 Phénologie du blé



⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- ① Météo

- ② Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- Collecte : fait

- Intégration dans le modèle : à faire

- Intégration dans le modèle : à faire

- Poursuivre la validation

- Validation de la collecte : fait

- Validation du modèle : à faire

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- ① Météo

- ② Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- ① Collecte : fait

- ② Analyse de son effet : en cours

- ③ Simulations numériques : en cours

- Poursuivre la validation

- ① Validation des données d'entrée

- ② Validation des données de sortie

- ③ Validation des paramètres

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- ① Météo

- ② Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- ① Collecte : fait

- ② Analyse de son effet : en cours

- ③ Simulations numériques : en cours

- Poursuivre la validation

- ① Validation des données d'entrée

- ② Validation des paramètres

- ③ Validation des résultats

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- ① Météo

- ② Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- ① Collecte : fait

- ② Analyse de son effet : en cours

- ③ Simulations numériques : en cours

- Poursuivre la validation

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- 1 Météo

- 2 Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- 1 Collecte : fait

- 2 Analyse de son effet : en cours

- 3 Simulations numériques : en cours

- Poursuivre la validation

- 1 Validation sur l'année 2004

- 2 Validation sur 2005

- 3 Validation sur 2006

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- 1 Météo

- 2 Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- 1 Collecte : fait

- 2 Analyse de son effet : en cours

- 3 Simulations numériques : en cours

- Poursuivre la validation

- 1 Validation sur l'année 2004 : prédiction de la date avec un décalage d'un jour à 24.32%

- 2 Valider sur plusieurs années

- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle
 - 1 Météo
 - 2 Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données
- Prise en compte du vent
 - 1 Collecte : fait
 - 2 Analyse de son effet : en cours
 - 3 Simulations numériques : en cours
- Poursuivre la validation
 - 1 Validation sur l'année 2004 : prédiction de la date avec un décalage d'un jour à 24.32%
 - 2 Valider sur plusieurs années
- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle
 - 1 Météo
 - 2 Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données
- Prise en compte du vent
 - 1 Collecte : fait
 - 2 Analyse de son effet : en cours
 - 3 Simulations numériques : en cours
- Poursuivre la validation
 - 1 Validation sur l'année 2004 : prédiction de la date avec un décalage d'un jour à 24.32%
 - 2 Valider sur plusieurs années
- Poursuivre l'analyse de sensibilité

Perspectives

- Données d'entrée du modèle
 - 1 Météo
 - 2 Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données
- Prise en compte du vent
 - 1 Collecte : fait
 - 2 Analyse de son effet : en cours
 - 3 Simulations numériques : en cours
- Poursuivre la validation
 - 1 Validation sur l'année 2004 : prédiction de la date avec un décalage d'un jour à 24.32%
 - 2 Valider sur plusieurs années
- Poursuivre l'analyse de sensibilité : les paramètres liés au taux d'accrissement

Perspectives

- Données d'entrée du modèle

- 1 Météo

- 2 Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données

- Prise en compte du vent

- 1 Collecte : fait

- 2 Analyse de son effet : en cours

- 3 Simulations numériques : en cours

- Poursuivre la validation

- 1 Validation sur l'année 2004 : prédiction de la date avec un décalage d'un jour à 24.32%

- 2 Valider sur plusieurs années

- Poursuivre l'analyse de sensibilité : les paramètres liés au taux d'accroissement

Perspectives

- Données d'entrée du modèle
 - 1 Météo
 - 2 Phénologie du blé

⇒ Système d'Informations Arvalis : génération et interpolation de données
- Prise en compte du vent
 - 1 Collecte : fait
 - 2 Analyse de son effet : en cours
 - 3 Simulations numériques : en cours
- Poursuivre la validation
 - 1 Validation sur l'année 2004 : prédiction de la date avec un décalage d'un jour à 24.32%
 - 2 Valider sur plusieurs années
- Poursuivre l'analyse de sensibilité : les paramètres liés au taux d'accroissement

Perspectives

- Étude mathématique
 - Finaliser l'étude mathématique
 - Prendre en compte la température
- Mieux estimer la diffusion
 - Navigation en fonction de la température

Perspectives

- Étude mathématique

- ① Finaliser l'étude mathématique
- ② Prendre en compte la convection

- Mieux estimer la diffusion

- ③ Modéliser en fonction de la température

Perspectives

- Étude mathématique
 - ① Finaliser l'étude mathématique
 - ② Prendre en compte la convection
- Mieux estimer la diffusion

↳ *Modèles de diffusion et de convection*

Perspectives

- Étude mathématique
 - ① Finaliser l'étude mathématique
 - ② Prendre en compte la convection
- Mieux estimer la diffusion
 - ③ Variation en fonction de la température

Perspectives

- Étude mathématique
 - ① Finaliser l'étude mathématique
 - ② Prendre en compte la convection
- Mieux estimer la diffusion
 - ① Variation en fonction de la température

Perspectives

- Étude mathématique
 - ① Finaliser l'étude mathématique
 - ② Prendre en compte la convection
- Mieux estimer la diffusion
 - ① Variation en fonction de la température

Merci pour



vosre attention