Modèles mathématiques de quoi s'agit-il?

1

Modèle mathématique

- Une série d'équations ou de représentations graphiques qui décrivent des relations entre variables d'une manière précise.
  - Des modèles mathématiques sont utilisés particulièrement en biologie, ingénierie électrique et physique mais également dans d'autres domaines comme en économie, sociologie et science politique.

Objectifs de cette présentation

- Présenter différents types de modèle mathématiques

- Faire passer un message d'espoir
  - Le choix est largement déterminé par
    - le problème
    - les informations disponibles

3

Il y a différentes façons pour faire une classification de modèles.

On pourrait le faire par type de système. Il y aurait des modèles de dynamique de populations, des modèles de troupeaux d'animaux domestiques, des modèles de culture, etc. Il y a des cours et des séminaires sur ces sujets, et ils ont certainement leur importance. Ils permettent d'échanger sur le domaine en question.

La deuxième façon est de présenter une classification par type de construction mathématique. C'est notre choix, parce que, dans cette formation, on s'intéresse plutôt aux aspects mathématiques et statistiques des modèles, et non pas à la façon de représenter un type particulier de système.

La typologie ne peut être que partielle. En particulier, on va situer les types de modèles dont il sera question dans cette formation.

Le deuxième objectif est de faire passer un message d'espoir. Il y a beaucoup de types de modèles. On pourrait alors avoir l'impression que le choix est en même temps difficile et important. Le choix est en effet important, mais pas aussi difficile que cela peut sembler. En fait, comme on verra, le choix est assez guidé par ce que l'on veut modéliser et par le type d'informations disponibles.

Plan

- Modèle statique déterministe $Y=f(X;\theta)$
- Modèle statique stochastique$Y=f(X;\theta)+\varepsilon$
- Modèle dynamique déterministe $dY/dt=f(Y(t),X(t);\theta)$
- Modèle dynamique stochocastique $dY/dt=f(Y(t),X(t);\theta)+\varepsilon(t)$
- Modèle de type EDP
- Modèle individu-centré

4

La liste est partielle. Il n'est pas possible de parler de tous les types de modèle. Par exemple, on ne parle pas des modèles pour l'analyse de variance, des modèles pour la théorie des queues, etc Pourquoi ce choix? Chaque modèle est le résultat de connaissances sur le domaine et de traitement mathématique et statistique. On a privilégié les modèles où les deux aspects sont importants, donc on ne traite pas des méthodes où le comportement du système est réduit à une espérance constante. D'autre part, on traite les types de modèle qui sont assez largement utilisés en agronomie.

Modèle statique déterministe

Une équation

- $Y=f(X;\theta)$

5

Y est la variable à calculer, c'est une fonction d'autres variables X (ça peut être un vecteur) et de certains paramètres θ.

Modèle statique déterministe

Une équation. Exemple 1

- $Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_3+a_4X_4$

  Y =rendement de blé dans un département

  X_1= température moyenne période 1

  X_2= pluviométrie période 1

  X_3= pluviométrie période 2

  X_4= rayonnement total

  $\theta = (a_0, a_1, a_2, a_3, a_4)$

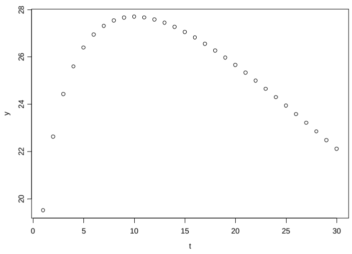
Modèle statique déterministe

Une équation. Exemple 2

$$Y(t) = k_1 t^{k_2} e^{-k_3 t}$$

Y(t)=production de lait, semaine t

$\theta = (k_1, k_2, k_3)$ $Y=f(X;\theta)$



7

Modèle déterministe

Modèle statique déterministe

Plusieurs équations

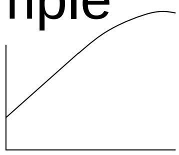
$$Y_1 = f_1(Y, X; \theta)$$
$$Y_2 = f_2(Y, X; \theta)$$
$$\vdots$$

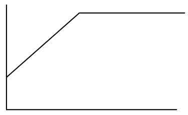
8

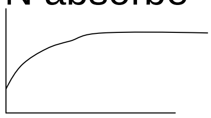
Modèle statique déterministe

Plusieurs équations. Exemple

- N absorbé =f(dose N; θ)
- Rdt=f(N absorbé; θ)
- Teneur en N=f(N absorbé, rdt; θ)







9

On peut construire des modèles assez complexes en combinant plusieurs modèles simples.

Dans cet exemple, l’objectif était d’avoir des expressions pour le rendement de blé et pour la teneur en azote des grains en fonction de l’azote apporté. On aurait pu chercher des équations empiriques cohérentes avec les données, mais on a choisi plutôt d’utiliser des connaissances agronomiques, qui permettent de choisir des fonctions pour le rendement en fonction de l’azote absorbé et de la teneur en azote des grains en fonction du rapport azote absorbé sur rendement. De ces équations on peut déduire le rendement et la teneur en azote des grains en fonction de l’apport d’azote, mais ces équations sont probablement plus complexes que celles que l’on aurait proposées en écrivant les relations directement.

En résumé, on écrit des équations simples basées sur nos connaissances. Les relations d’intérêt ne sont pas écrites directement mais sont les conséquences de nos équations. On poussera cette approche plus loin avec les modèles dynamiques.

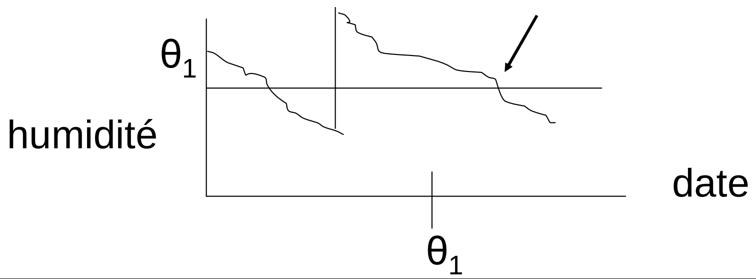
Relation implicite

- Un algorithme plutôt qu'une équation

Modèle statique déterministe

Relation implicite. Exemple

- Date de semis en fonction de l'humidité du sol
  - SI (date > θ_1) ET (humidité 0-30 cm > θ_2) ALORS sème



C4est un exemple d'une règle de décision. La décision est donnée en fonction d'autres variables plutôt que d'être donnée comme une valeur fixe (par exemple, semer le 30 mars). Il y aura un exposé sur les modèles de décisions.

Ce type de modèle est adapté si…

- Information de type (Y_1, X_1), (Y_2, X_2) …
- On suppose une relation simple entre Y et X

Modèle statique stochastique

$$Y=f(X;\ \theta)+\varepsilon$$

- ε est une variable aléatoire
- ε décrit en termes statistiques ce que l'on n'arrive pas à prédire avec le modèle de réponse.
- Il faut modéliser la partie statistique

13

Un modèle stochastique est un modèle qui contient une (ou plusieurs) variable aléatoire.

Un problème avec un modèle déterministe statique est le fait qu'en général la relation n'est qu'approximatif. C'est surtout le cas pour des modèles en biologie en général et en agronomie en particulier, où les systèmes sont très complexes et seulement partiellement compris.

Parfois on peut ignorer l'erreur, mais dans beaucoup de cas on a besoin d'une représentation explicite de l'erreur. Par exemple, pour l'estimation des paramètres. Il faut un critère pour l'estimation des paramètres. En général on choisie des valeurs pour minimiser des erreurs, mais cela impose de traiter explicitement ces erreurs. Par exemple, la méthode de moindres carrés a une justification basée sur une modélisation de l'erreur (erreurs de même distribution pour chaque observation). La prédiction avec le modèle pose aussi le problème de l'erreur. On voudrait quantifier la qualité de prédiction et pour cela il faut parler de l'erreur du modèle.

C'est pour cela que l'on rajoute une représentation explicite de l'erreur dans le modèle. Cela rajoute une deuxième modélisation, qui est la modélisation de la partie aléatoire. On suppose un certain nombre de propriétés de ε, et cela nous permet de déduire des algorithmes d'estimation et de quantifier l'erreur de prédiction.

Le modèle $Y=f(X;\ \theta)+\varepsilon$ est un modèle de régression classique.

Modèle statique stochastique

Exemple

$$Y=a_0+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_3+a_4X_4+\varepsilon$$

$$\varepsilon \sim N(0,\sigma^2)$$

14

C'est le même exemple qu'auparavant, avec Y le rendement de blé dans un département, mais maintenant avec un terme aléatoire. Le modèle statistique ici dit que la variable aléatoire ε est de distribution normale, avec espérance 0 et variance constante σ^2.

Insistons sur le fait qu'il y a deux modélisations différentes ici, qui seront jugés d'après des critères différents.

La partie déterministe. On veut qu'elle explique le plus possible de la variabilité de Y.

La partie aléatoire (ou stochastique). On veut qu'elle représente fidèlement l'erreur du modèle déterministe.

Modèle statique stochastique

Ce type de modèle est adapté si…

- Information de type (Y_1, X_1), (Y_2, X_2) …
- On suppose une relation simple entre Y et X
- On a besoin d’un traitement explicite des erreurs
  - Pour l’estimation des paramètres
  - Evaluation de la qualité de prédiction

Modèle dynamique déterministe

$$
\begin{aligned}
&dY_1 / dt = f_1(Y(t), X(t); \theta) \\
&Y_2 / dt = f_2(Y(t), X(j); \theta) \\
&\vdots
\end{aligned}
$$

$$
\begin{aligned}
&\left[Y_1(t+\Delta t) - Y_1(t) \right] / \Delta t = f_1(Y(t), X(t); \theta) \\
&\left[Y_2(t+\Delta t) - Y_2(t) \right] / \Delta t = f_2(Y(t), X(t); \theta) \\
&\vdots
\end{aligned}
$$

16

Un modèle dynamique consiste en une ou une série d'équations différentielles (en haut) ou d'équations de différence (en bas). On s'intéresse particulièrement au cas de plusieurs équations.

A première vue, ces équations ressemblent à des équations pour un modèle déterministe statique avec plusieurs équations. Il y a des variables Y qui sont calculées, des variables X qui sont des variables explicatives et des paramètres θ.

Pourtant, il y a des différences importantes. D'abord, Y est de nature différente. Chaque composante de Y n'est pas une seule variable mais une fonction du temps. Deuxièmement, les équations ne donnent pas directement les valeurs de Y à chaque temps t. Pour connaître Y(t) pour un t particulier, il faut intégrer les équations. C'est-à-dire, il faut une procédure mathématique supplémentaire.

Notons que les équations dépendent uniquement des valeurs Y(t) et X(t) pour le t en question. C'est-à-dire, les équations ne dépendent pas explicitement de l'histoire du système. L'histoire est implicitement prise en compte à travers les valeurs des variables d'état au temps t. Les variables d'état ont donc un rôle très important. Ils donnent à chaque temps t une description suffisante du système pour savoir comment le système va évoluer. On a réduit la description du système à des valeurs de l'ensemble des variables d'état. (Ainsi, le choix des variables d'état va être un choix déterminant en développant un modèle dynamique).

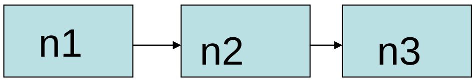
Modèle dynamique déterministe

Exemple. Réaction chimique

$$\frac{dn_1}{dt} = -\alpha n_1$$

$$\frac{dn_2}{dt} = \alpha n_1 - \beta n_2$$

$$\frac{dn_3}{dt} = \beta n_2$$



17

C’est le modèle pour une réaction chimique où la forme 1 se décompose en donnant la forme 2 avec une cinétique de premier ordre, la forme 2 se décompose également avec une cinétique de 1er ordre pour donner la forme stable 3.

N1, n2, n3 sont les concentrations de chaque forme.

Souvent on représente ce type de modèle avec un diagramme comme à droite. Chaque boîte représente une variable d’état (on dit aussi un compartiment) et les flèches représentent des flux entre compartiments. Notons que les formes 1, 2 et 3 ne sont pas séparées dans l’espace; tout se passe dans un récipient. Néanmoins, il y a 3 boîtes parce qu’il y a 3 variables d’état.

Modèle dynamique déterministe

Exemple. Croissance d'une plante

$$BM(j+1) - BM(j) = \Delta BM = \theta_0 R(j) e^{-\theta_2 LAI(j)}$$

$$LAI(j+1) - LAI(j) = \theta_1 \Delta BM$$

18

Il y a ici deux variables d'état: BM (biomasse par unité de surface) et LAI (indice foliaire=surface des feuilles par unité de surface de sol).

La première équation décrit le changement journalier de biomasse, qui dépend du rayonnement solaire journalier R(j) et de l'indice foliaire, qui détermine quelle fraction du rayonnement est interceptée par les feuilles. La deuxième équation dit que l'augmentation de la surface foliaire est proportionnelle à l'augmentation de la biomasse (cela suppose qu'une fraction fixe de la biomasse est utilisée pour faire des feuilles, et que le rapport surface poids des feuilles est constant).

Modèle dynamique déterministe

Intégration

$$j = 1$$

$$\Delta BM = \theta_0 R(1) e^{-\theta_2 LAI(0)}$$

$$BM(1) = BM(0) + \theta_0 R(1) e^{-\theta_2 LAI(0)}$$

$$LAI(1) = LAI(0) + \theta_1 \theta_0 R(1) e^{-\theta_2 LAI(0)}$$

19

Normalement, il faut faire l'intégration numériquement (pas de solution analytique).

Pour les équations différentielles l'intégration demande un algorithme adapté. Des logiciels pour modèles dynamiques fournissent en général des algorithmes d'intégration. C'est le cas en particulier pour ModelMaker. Pour le modélisateur donc, il suffit en général (sauf cas particulièrement difficile) de choisir le type d'algorithme (Olivier en parlera) puis de laisser le logiciel l'appliquer.

Pour les équations par différence, l'intégration est triviale, il suffit d'appliquer les équations jour par jour. On illustre ici.

Modèle dynamique déterministe

$$j = 2$$

$$\Delta BM = \theta_0 R(2) e^{-\theta_2 LAI(1)}$$

$$BM(2) = BM(1) + \theta_0 R(2) e^{-\theta_2 LAI(1)}$$

$$= BM(0) + \theta_0 R(1) e^{-\theta_2 LAI(0)} + \theta_0 R(2) e^{-\theta_2 \left[LAI(0) + \theta_1 \theta_0 R(1) e^{-\theta_2 LAI(0)} \right]}$$

$$LAI(2) = LAI(1) + \theta_1 \theta_0 R(2) e^{-\theta_2 LAI(1)}$$

$$= LAI(0) + \theta_1 \theta_0 R(1) e^{-\theta_2 LAI(0)} + \theta_1 \theta_0 R(2) e^{-\theta_2 \left[LAI(0) + \theta_1 \theta_0 R(1) e^{-\theta_2 LAI(0)} \right]}$$

Notons la forme des équations après intégration. On a maintenant des équations déterministes statiques. C'est-à-dire, on exprime une variable de réponse Y(t) pour chaque t en fonction des variables explicatives X pour tout temps entre 0 et t. Cette forme donne directement le lien entre les sorties d'intérêt (par exemple biomasse ou indice foliaire à certaines dates, ou biomasse final fois un indice de récolte pour donner le rendement). et les variables explicatives chaque jour entre le début de la simulation et le jour en question.

Deux formes

- Les équations dynamiques
  – Nos connaissances sont de cette forme
- Les équations statiques après intégration
  – Pour faire le lien avec des observations

Modèle dynamique déterministe

Pourquoi équations dynamiques?

- Pas toujours nécessaire
- Avantages:
  - Permet de faire le lien entre fonctionnement du système et connaissances sur les processus (lien INRA-ICTA)
  - Permet d'exploiter des connaissances sur les processus (équations et données)
  - Permet de faire des modèles complexes à partir d'équations simples.
  - Permet d'étudier multiples aspects du système
- Désavantage:
  - Difficile de connaître comportement du modèle

Dans certains cas on s'intéresse réellement à toute la dynamique du système. Dans ce cas ce sont des équations dynamiques qui nous intéressent. Mais dans beaucoup de cas, les équations dynamiques sont simplement un moyen pour arriver aux équations statiques.

Dans ce cas, pourquoi passer par des équations dynamiques? Cette approche peut avoir des avantages importants:

•D'abord, cela nous permet de relier des processus au comportement du système global. Pour un peuplement de plantes par exemple, les processus pourraient être la photosynthèse, la dynamique de l'eau et de l'azote, le développement phénologique etc, et les réponses au niveau du système global pourraient être le rendement, la qualité du produit, l'impact sur l'environnement.

•Par ailleurs, ce type de modèle est particulièrement adapté à des collaborations entre INRA et les ICTA. L'INRA focalise sur les processus (les équations dynamiques) et les ICTA sur les résultats au niveau du système global. Collaborer sur des modèles est alors naturel et avec des bénéfices réciproques.

•Il est important de faire le lien afin de profiter des connaissances qui existent aux deux niveaux. On comprendra mieux chaque niveau en utilisant nos connaissances sur l'autre.

•Si on écrit directement des équations de réponse on est limité en pratique à des équations relativement simples. Par contre, en passant par des équations dynamiques, on peut combiner des équations simples pour avoir in fine des équations de réponse très complexes.

•Enfin, on ne sait pas toujours définir dès le début les aspects du système

Modèle dynamique déterministe

Ce type de modèle est adapté si…

- On veut calculer des trajectoires dans le temps
- On a des informations sur le comportement dynamique du système

ou

- On veut calculer certaines réponses
- On a des informations sur le comportement dynamique du système

23

Dans les deux cas, on calcule les valeurs des variables d'état à chaque temps t. Dans le premier cas, c'est cette dynamique qui nous intéresse. Dans le deuxième cas, on ne s'intéresse qu'à un petit nombre de valeurs, par exemple rendement final. Néanmoins, comme on a vu, la modélisation dynamique peut être bien adaptée quand même.

Modèle dynamique stochastique

- Modèle dynamique avec une partie aléatoire
- Deux façons pour introduire une erreur aléatoire
  - Dans les équations de réponse

    $$Y(t)=f(X;\ \theta)+\varepsilon$$
  - Dans les équations dynamiques

    $$dY(t)/dt=f(Y(t),X(t);\theta) + \varepsilon(t)$$

24

Première possibilité – on intègre pour avoir des réponses statiques, puis on rajoute une partie aléatoire. Cela nous ramène à la situation d'un modèle de régression.

Deuxième possibilité – on rajoute une partie aléatoire dans les équations dynamiques. C'est beaucoup plus complexe. Dans le cas continu, il s'agit de processus aléatoire plutôt que de variables aléatoires. Il faut donc définir le lien entre les ε à différents temps (erreur constante dans le temps? Erreurs indépendantes à chaque instant?). Ensuite il faut résoudre les équations avec une partie aléatoire. Cela donne une distribution à chaque temps, donc ça donne automatiquement une distribution pour chaque réponse.

S'il s'agit de l'estimation des paramètres, on peut introduire l'aléatoire dans les équations de réponse. Idem pour l'évaluation.

Il y a par contre quelques cas où il est obligatoire d'utiliser des équations dynamiques stochastiques. Un cas est celui où on a des mesures en temps réel, et on veut les utiliser pour ajuster le modèle au moment de la mesure. C'est-à-dire, on fait une mesure, on utilise la mesure pour modifier le modèle pour qu(il soit cohérent avec la mesure, puis on utilise le modèle modifié pour prédire la suite.

Dans cette formation, on se limite au cas où on rajoute une partie aléatoire aux équations après intégration.

EQUATIONS DIFFERENTIELLES PARTIELLES

- Pour des systèmes qui varie en fonction de plusieurs variables continues

Modèle à base d'EDP

EXEMPLE (1)

- Population qui varie dans le temps et dans l'espace. Diffusion+ reproduction
  - N=densité d'individus (t,x,y). P=vitesse de reproduction. D=constante de diffusion

$$\frac{\partial N(t,x,y)}{\partial t} = D\left[\frac{\partial^2 N(t,x,y)}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 N(t,x,y)}{\partial y^2}\right] + \rho N(t,x,y)$$

26

Modèle à base d'EDP

EXEMPLE (2)

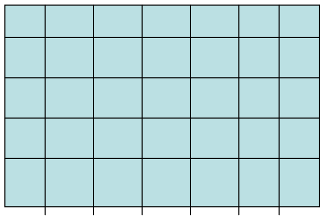
- Population avec structure d'âge
  - n(t,a)=fruits d'âge a au temps t
  - r convertit entre temps chronologique et phénologique
  - f(t,a) est le taux de chute des fruits

$$\frac{\partial n(t,a)}{\partial t} + r\frac{\partial n(t,a)}{\partial a} = -f(t,a)n(t,a)$$

Modèle à base d'EDP

Autre solution pour problèmes spatiaux

- Discrétiser l'espace
  - Décrire évolution dans chaque carré
  - Décrire transferts entre carrées



28

Les modèles à base d'EDP sont difficiles à manipuler et à résoudre. Quand on discrétise l'espace (ou les âges), on ramène le problème à un problème avec des dérivées juste par rapport au temps. (Mais on multiplie le nombre de variables d'état par le nombre de cases dans l'espace). C'est une approximation aux EDP.

On peut faire de même pour des catégories d'âge. Par exemple, on pourrait définir des classes d'âge pour une population d'insectes: stade œuf, pupe, larve 1, larve 2, larve 3, adulte. Puis au lieu de traiter l'âge comme une variable continue, on traite séparément ces 6 classes, avec une équation dynamique simple pour chaque classe.

Modèle à base d'EDP

Ce type de modèle est adapté si…

- Les variables d'état varient en fonction de plusieurs variables continues (Y(t,x,y) par exemple).
- Nos connaissances concernent les dérivées par rapport à ces variables

Modèle individu-centré

MODELE INDIVIDU-CENTRE

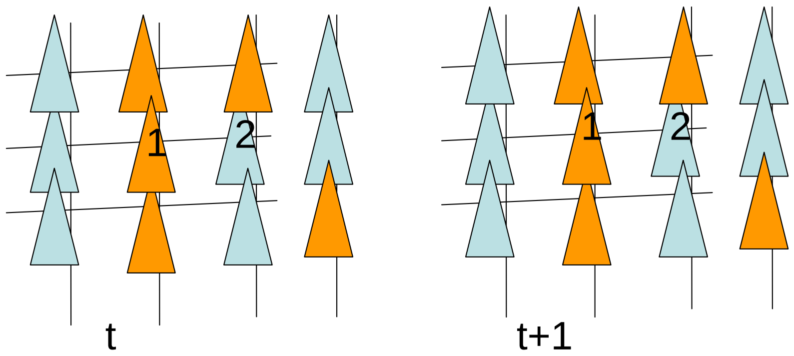
- Un ensemble d'individus
- Des règles de comportement, fonctions de l'environnement local

Pour ce type de modèle, on définit des règles relativement simples pour chaque individu en fonction de ses voisins. A chaque temps t on applique les règles, pour déterminer l'état de chaque individu au temps suivant. Et ainsi de suite.

Modèle individu-centré

Exemple

– Si n=2, pas de changement. Si n=3, orange. .Sinon, bleu (n=nombre de voisins orange)



31

Dans la figure, on montre tous les voisins uniquement pour les individus 1 et 2. On regarde dans chaque cas les 8 plus proches voisins. Au temps t, l'individu 1 a 3 voisins orange, donc au t+1 il est orange. L'individu 2 a 5 voisins orange, donc au temps t+1 il est bleu.

Pour les autres individus, le nouvel état au temps t+1 dépend également de leurs plus proches voisins.

Quel sera le comportement d'une grande population qui suit ces règles à travers le temps? Est-ce que l'on finira avec tout le monde bleu ou orange ou avec quelque chose de plus complexe? En fait, on trouve des comportements complexes. (Des régions stables, un comportement oscillatoire, des formations qui traversent lentement le paysage).

D'autres types de modèle sont similaires.

Automates cellulaires. Dans ce cas, les individus sont placés sur les intersections d'un réseau, et chaque intersection est occupée. Notre exemple est en fait aussi une automate cellulaire.

Modèle multi-agent. C'est une notion plus général. Un modèle individu-centré est un modèle multi-agent, où les agents sont les individus simulés.

Modèle individu-centré

Ce type de modèle est adapté si…

- On veut faire le lien entre le comportement individuel et le comportement de la population
  - On a des connaissances sur le comportement individuel –
  - on veut simuler le comportement du collectif

ou

  - On a des connaissances sur le comportement collectif –
  - on veut tester des théories sur le comportement individuel

32

Voir l'exemple de PARIS

LUNDI APRES MIDI

Les modèles mathématiques – de quoi s'agit-il ?

A quoi servent les modèles ?

Expérimentation et modélisation

INAVI (croissance de poulets de chair)

MARDI MATIN

Construction des équations

Apprentissage de ModelMaker

MARDI APRES MIDI

Approche Systémique et modélisation

BETHA (ITK pour le blé ethanol)

TP ModelMaker

MERCREDI MATIN

Changement d'échelle ou de niveau d'organisation

Modélisation pluriannuelle des assolements en élevage bovin laitier

Informatique et modèles

Exemple d'un modèle multi-agent : PARIS.

MERCREDI APRES MIDI

Modélisation et décisions

Le logiciel MODERATO

Analyse et évaluation

ModelMaker: évaluation et l'analyse

Les logiciels VENSIM et STELLA.

JEUDI MATIN

Estimation des paramètres d'un modèle dynamique

Le modèle Mini-STICS (culture de maïs)

Le modèle IRRIBET (irrigation de la betterave)

33

On peut maintenant revoir le programme de cette formation.

D'abord, il y a des présentations qui présentent des éléments généraux de la modélisation:
•approche systémique (le modèle comme méthode pour étudier des systèmes)
•à quoi servent des modèles (les motivations pour faire des modèles)
•le lien entre modélisation et expérimentation (le rôle de la modélisation dans un programme de recherche ou développement)
•La façon de choisir les équations
•Les problèmes de changement d'échelle. Comment passer des connaissances à un niveau (informations locales, informations sur des animaux) à une échelle supérieure (sur un territoire, sur un troupeau).
•des considérations informatiques pour la modélisation. La mise en œuvre pratique d'un modèle est en effet souvent le facteur limitant de la modélisation.

Pour les cours plus spécifiques, on focalise surtout sur des modèles dynamiques (mais beaucoup de matière est commune aux modèles statiques et modèles dynamiques). Suivant le cas il s'agira de modèles déterministes ou stochastiques.
Pratiquement, comment développer un modèle dynamique?
Les TP avec ModelMaker vont vous permettre de maîtriser un outil pour le faire. On a fait ce choix, il y a d'autres outils similaires. On en présentera deux; VENSIM et STELLA.

D'autres exposés vont entrer dans certains problèmes communs dans le développement, analyse et utilisation de modèles dynamiques (ou statiques). On parlera de
•Le problème de l'utilisation de modèles pour évaluer différentes règles de conduite du système (qui est une des utilisations principales de la modélisation)
    •Comment représenter ces conduites (modèles de décision)
    •Comment évaluer voire optimiser des conduites
•Comment estimer des paramètres d'un modèle. Un problème universel et très important pour la qualité du modèle
•Comment analyser et évaluer un modèle

On parlera également de la modélisation individu-centré.

Enfin, il y aura des exposés sur des cas particuliers, qui illustreront l'application des méthodes présentées dans des cas particuliers.
•Un modèle statique (calcul des décisions optimales)
•Des modèles dynamiques
    •Modélisation des assolements (et optimisation des décisions)
    •MODERATO (et représentation des décisions)
    •Mini-STICS (estimation des paramètres)
    •IRRIBET (et diffusion d'un modèle)
•Un modèle individu-centré (PARIS)

FIN

34