

Modélisation de la demande de transport

7C

Composition de modèle

Fabien Laurent
ENPC / LVMT

Plan

- Enjeux de la composition
- Composition interne
- Bloc-modèle (composant de modélisation)
- Combinaisons systémiques
 - En série
 - En parallèle
 - Rétroactions
- Cas du modèle nested logit
- Rétroactions
- Vers un équilibre général ?
- Conclusion

Enjeux et principes

- Enjeux
 - Composer, combiner, afin d'enrichir la représentation et d'augmenter la portée
 - Représenter des aspects plus nombreux et plus variés, avec des dépendances plus complexes : rendre endogènes davantage d'éléments
- Principes de combinaison
 - En profondeur : intégrer des aspects, des éléments, avec des interactions intimes
 - En largeur : interconnexion des modèles, en série, en parallèle, et rétroactions
 - La rétroaction induit une complexité forte

Bloc-modèle

- Définition
 - Un modèle scientifique établit les conséquences d'un ensemble de causes
- Expression formelle

$$Y = F(X)$$
 - X est le vecteur des variables d'input (causes),
 - Y est le vecteur des variables d'output (conséquences)
- F est une fonction mathématique qui relie les variables d'output aux variables d'input

- Illustration

INPUTS → Model → OUTPUTS

 - A un modèle A on peut associer son vecteur d'input X_A , son vecteur d'output Y_A et sa fonction de transformation F_A

Composition interne d'un modèle

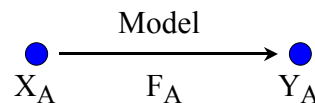
- Définition du contenu sémantique
 - Un modèle contient un ensemble de concepts élémentaires, avec des relations entre ces concepts
 - La composition interne d'un modèle signifie son contenu sémantique, ou l'assemblage explicite des concepts et des relations
- Cas d'un modèle d'affectation
 - Choix parmi des moyens
 - Choix rationnel : comportement économique
 - Hétérogénéité des demandeurs : classes de demande, pour la variété des conditions et la variété des préférences
 - Fonction de demande : en volume, en préférences
 - Les services, leurs caractères et leur qualité de service
 - Le modèle de congestion

La palette des composants

- Composants classiques
 - Génération
 - Distribution spatiale
 - Choix modal
 - Affectation sur réseau privé, sur réseau public
 - Motorisation et équipement en automobile
- Composants « pointus »
 - Choix de moyen plurimodal
 - Stationnement
 - Choix d'horaire
 - Boucles et programmes d'activités
 - Évolution démographique
- Modèles connexes : impacts
- Composants innovants : marchés couplés, logistique

Combinaison externe

- Combinaison systémique de blocs-modèles
 - Les blocs-modèles comme des arcs
 - Les jeux de variables, en vecteur d'input ou d'output, comme des nœuds
 - *Arcs et nœuds, pour un réseau de traitement d'information*



- Types de combinaison externe
 - En série
 - En parallèle
 - Rétroaction (feedback) et combinaisons complexes

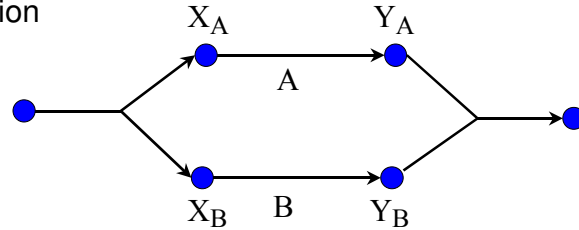
Combinaison en série

- Définition
 - Deux modèles A et B sont combinés en série si certains outputs de A sont des inputs de B
 - Alors le modèle A est un modèle en amont de B , qui est un modèle en aval de A
 - Illustration
-
- ```
graph LR; X_A((X_A)) -- A / F_A --> Y_A_X_B((Y_A, X_B)); Y_A_X_B -- B / F_B --> Y_B((Y_B))
```
- Instance
    - Le schéma classique à quatre étapes pour la demande de transport, est une combinaison en série de la génération, de la distribution, du choix modal et de l'affectation

## Combinaison en parallèle

- Définition
  - Deux modèles sont combinés en parallèle si certains de leurs inputs sont communs et/ou si certains de leurs outputs servent d'inputs pour un autre modèle

- Illustration



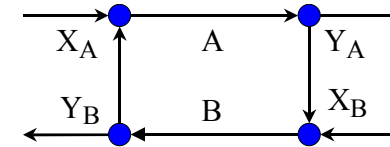
- Instance

- Un modèle d'affectation routière et un modèle d'affectation aux TC, dans lesquels les volumes modaux résultent du même modèle de choix modal, sont des modèles combinés en parallèle

## Feedback et combinaisons complexes

- Définition du feedback (rétroaction)
  - Il y a un feedback entre le modèle A et le modèle B si des outputs de A sont des inputs de B, ET si réciproquement des outputs de B sont des inputs de A (éventuellement au travers de modèles intermédiaires)

- Illustration



- Instance

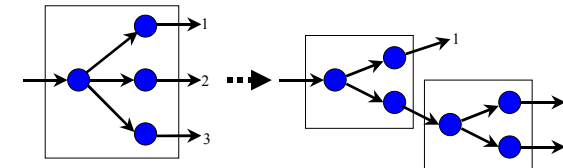
- Dans un modèle combiné de distribution et affectation, le modèle de distribution produit des volumes O-D qui sont des are inputs du modèle d'affectation, qui réciproquement produit des coûts O-D qui servent d'input au modèle de distribution

## Rétroactions

- Affectation et choix modal
  - Rendre la qualité de service, endogène au choix modal
  - L'affectation produit la charge et le niveau de service
  - Les niveaux de service déterminent le partage modal
- Affectation et distribution
  - Les niveaux de service dépendent de la charge, donc des flux O-D. Tandis que la structure spatiale des flux dépend des impédances entre zones
- Choix modal et distribution
  - Quel niveau de service plurimodal ??
- Sur la génération
  - Intensité de la génération, en lien avec la proximité physique de certaines destinations ?
  - Génération et accessibilité économique ?

## Modèle logit hiérarchique

- Définition
  - Décomposer un choix intégré, en une structure hiérarchique



- Coût généralisé (ou fonction d'utilité) au niveau supérieur vs celui au niveau inférieur

- Illustration

- Niveau supérieur = choix du mode de voyageur, entre l'automobile et le transport public
- Niveau inférieur = choix du sous-mode de transport public, entre le train et l'autocar

## Questions de composition

- **Plan sémantique**
  - Une variable a-t-elle une signification globale, ou particulière à un modèle donné ?
  - Les phénomènes sont-ils cohérents les uns avec les autres (absence de contradiction) ?
- **Plan formel**
  - Y a-t-il un état global d'équilibre ? Si oui, l'équilibre global est-il unique ? Est-il stable ?
- **Plan technique**
  - Y a-t-il un solveur intégré, ou un système de solveurs ?
  - Peut-on décomposer l'incertitude technique (imprécisions...)
- **Plan empirique**
  - Intégration de bases de données relatives aux nœuds d'information

## Vers quel équilibre général ?

- **Au plan formel**
  - Juxtaposition d'équations exprimant chacune une dépendance
- **Au plan technique**
  - Équilibrage « externe » par un algorithme itératif qui effectue la succession des modèles ? Imprécis même après des itérations en grand nombre
  - Équilibrage « interne » par algorithme d'ajustement conjoint : ex, traitement intégré de l'affectation à demande élastique
- **Au plan sémantique**
  - Signification et interprétation, d'intégrer des ajustements entre offre et demande sur plusieurs marchés qui relèvent de décisions éventuellement couplées mais aux termes temporels distincts ?
  - Attention aux coûts de transaction : ex, coût de changer de logement, pour un modèle du choix de localisation

## Conclusion

- Les systèmes de modèles permettent à l'analyste de modéliser un système complexe, selon un principe de décomposition
- En dehors des modèles intégrés, qui sont des sous-systèmes de modèles, les blocs-modèles sont liés les uns aux autres par des relations « faibles » : combinaison en série, en parallèle, en feedback
- Ces relations peuvent être étudiées par analyse systémique