

Laboratoire 6

**Introduction à la modélisation des
transports :
Modèle gravitationnel & régression
de la demande**

Module : Collecte et gestion des données relatives aux transports

Durée : 180 minutes

Contents

Objectif	2
1 Fichiers & outils	3
2 Activité 1 – Modèle de gravité dans Excel	3
3 Activité 2 – Modèle gravitationnel Python (contribution des élèves, β fixe)	4
4 Activité 3 – Modèle interactif de la gravité (P, A, C fixes)	6
5 Activité 4 – Contribution des élèves + curseur β (dissuasion exponentielle)	6
6 Activité 5 – Matrice manuelle des facteurs de frottement	7
7 Activité 6 – Prévision de la demande en transport (régression)	8
8 Devoirs – Modèle gravitationnel avec exploration de la sensibilité	9

Objectif

Dans ce laboratoire, vous allez:

- utiliser un **modèle gravitationnel** simple pour effectuer la répartition des trajets pour les petits systèmes OD,
- calibrer une **fonction de frottement exponentielle** en modifiant le paramètre β ,
- expérimentez avec des outils Python interactifs pour la modélisation gravitationnelle et les facteurs de frottement,
- spécifiez manuellement une matrice de frottement personnalisée F_{ij} et observez son effet sur les schémas de déplacement,
- utilisez un modèle de régression pour **prévoir la demande de transport** à partir des données de distance, de tarif et d'itinéraire,
- appliquez une analyse de sensibilité et préparez un petit devoir avec votre propre système OD et vos valeurs β .

L'accent est mis sur le suivi clair des étapes pratiques et l'interprétation des résultats obtenus à partir d'Excel et des carnets Colab.

1 Fichiers & outils

1.1 Fichiers utilisés dans ce laboratoire

- Excel:
 - Trip Distribution Lab Example.xlsx
- Carnets Python / Colab:
 - Gravity_Model_Student_Input.ipynb
 - Interactive_Gravity_Model_Lab.ipynb
 - Gravity_Model_Student_Input(Exponential_Deterrence_Function).ipynb
 - Gravity_Model_Manual_Friction.ipynb
 - Transport_Demand_Regression_Lab.ipynb

1.2 Plateformes logicielles

- Microsoft Excel (ou Google Sheets).
- Google Colab (de préférence) ou Jupyter Notebook local avec Python 3.10+.
- Bibliothèques Python: `numpy`, `pandas`, `matplotlib`, `seaborn`, `scikit-learn` (généralement préinstallé sur Colab).

Réflexion & perspicacité

Le contexte théorique (modèle gravitationnel, fonctions de friction, zonage, tables d'entrée) est résumé dans les diapositives du Lab 6. Utilisez-les comme référence si vous vous perdez dans les formules.

2 Activité 1 – Modèle de gravité dans Excel

Dans cette activité, vous examinerez un exemple simple à trois zones dans Excel et verrez comment le modèle gravitationnel utilise les productions P_i , les attractions A_j , une matrice de coûts C_{ij} et une fonction de friction F_{ij} pour produire une matrice de déplacements T_{ij} .

Tâche 1: Inspecter les attractions de Productions et la matrice des coûts**Objectif:** Comprendre les données de base du modèle gravitationnel.**Étapes:**

1. Open Trip Distribution Lab Example.xlsx.
2. Identifiez la feuille qui contient :
 - le tableau des **productions** P_i et des **attractions** A_j (totaux par zone),
 - la **matrice de sélection/coût** C_{ij} (temps de trajet ou coût généralisé entre les zones).
3. Confirmer:
 - le nombre de zones utilisées dans l'exemple,
 - la production totale $\sum_i P_i$ et l'attraction totale $\sum_j A_j$.

Point de contrôle: Vous devriez être en mesure de dire, par exemple, "Nous avons 3 zones, production totale = ..., attraction totale = ...".**Tâche 2: Facteur de friction et matrice de déclenchement****Objectif :** Voir comment la fonction de friction exponentielle et la matrice T_{ij} sont mises en œuvre.

$$F_{ij} = e^{-\beta C_{ij}}$$

Étapes:

1. Trouvez la feuille (ou la plage) où le facteur de frottement F_{ij} est calculé.
2. Inspectez la formule utilisée dans une cellule et vérifiez qu'elle correspond à la forme exponentielle (par exemple, quelque chose comme =EXP(-beta * Cij)).
3. Regardez la **matrice de trajet** T_{ij} obtenue:
 - Vérifier les sommes des lignes (elles doivent être proches de P_i),
 - Vérifier les sommes des colonnes (elles doivent être proches de A_j).
4. Trouvez (ou calculez) la **durée moyenne du trajet** ou une statistique récapitulative similaire si elle est fournie.

Questions:

- Lorsque le coût C_{ij} augmente, qu'advient-il de F_{ij} ?
- La plupart des trajets sont-ils courts (au sein d'une même zone ou entre des zones proches) ou longs ?

Réflexion & perspicacité

Excel agit ici comme un modèle gravitationnel "transparent": vous pouvez voir chaque formule et chaque étape de l'itération d'équilibrage. Plus tard, nous masquerons ces détails dans le code Python.

3 Activité 2 – Modèle gravitationnel Python (contribution des élèves, β fixe)

Vous passez maintenant à Python et recréez le modèle gravitationnel avec vos propres données d'entrée. Le notebook Gravity_Model_Student_Input.ipynb utilise une fonction de frottement exponentielle fixe avec $\beta = -0,035$.

Tâche 3: Charger le cahier et saisir les données OD

Objectif: Définir un petit système OD et exécuter le modèle gravitationnel avec β fixe.

Étapes:

1. Téléchargez `Gravity_Model_Student_Input.ipynb` vers Google Colab.
2. Exécutez les cellules initiales qui:
 - importer les bibliothèques requises (e.g. `numpy`, `pandas`, `matplotlib`)
 - définir des fonctions d'aide.
3. Recherchez la cellule de saisie dans laquelle vous spécifiez:
 - nombre de zones (par exemple 3 ou 4),
 - productions P_i (sous forme de liste ou de tableau),
 - attractions A_j ,
 - matrice des coûts C_{ij} .
4. Pour un premier test, vous pouvez copier les mêmes valeurs P , A et C utilisées dans l'exemple Excel.

Point de contrôle: Assurez-vous que les sommes de P et A sont égales, ou que le cahier explique comment il gère les différences.

Tâche 4: Exécuter le modèle gravitationnel avec β fixe

Objectif: Calculer les déplacements à l'aide du modèle gravitationnel exponentiel avec un β fixe.

Steps:

1. Localisez l'endroit où β est défini dans le cahier (par défaut, cela devrait être `beta = -0,035` ou similaire).
2. Ne modifiez pas cette valeur pour cette activité.
3. Exécutez toutes les cellules restantes :
 - les itérations du modèle gravitationnel (équilibre),
 - la création de la matrice de déplacement T_{ij} ,
 - tous les graphiques (cartes thermiques, courbes de convergence),
 - le calcul de la durée moyenne des déplacements.
4. Lorsque le cahier est terminé, notez:
 - la matrice finale des trajets,
 - la durée moyenne des trajets,
 - le nombre d'itérations nécessaires pour converger (si indiqué).

Comparaison avec Excel:

- Comparez le T_{ij} Python avec le T_{ij} Excel (pour les mêmes P , A et C).
- La différence est-elle minime (simple arrondi)? Si oui, les deux implémentations sont cohérentes.

Réflexion & perspicacité

Si Python et Excel donnent les mêmes chiffres, vous êtes passé avec succès d'un modèle Excel "boîte blanche" à un modèle programmable que vous pouvez étendre et répéter rapidement.

4 Activité 3 – Modèle interactif de la gravité (P, A, C fixes)

Le cahier `Interactive_Gravity_Model_Lab.ipynb` maintient le système OD fixe mais vous permet de modifier β à l'aide d'un curseur afin d'observer la réaction des modèles de déclenchement et de la convergence.

Tâche 5: Explorer le curseur β avec les données préchargées

Objectif: Comprendre qualitativement comment différentes valeurs de β affectent la répartition des trajets.

Étapes:

1. Téléchargez `Interactive_Gravity_Model_Lab.ipynb` sur Colab.
2. Exécutez toutes les cellules de haut en bas.
3. Trouvez le widget interactif (curseur) pour β ; la plage typique peut aller de $-0,01$ à $-0,20$.
4. Essayez au moins trois valeurs, par exemple:
 - $\beta = -0,01$ (faible impédance),
 - $\beta = -0,035$ (moyenne),
 - $\beta = -0,10$ (haute impédance).
5. Pour chaque valeur, observez:
 - la matrice des déplacements (les déplacements sont-ils plus dispersés ou concentrés?),
 - le graphique de convergence (les itérations convergent-elles plus rapidement ou plus lentement?),
 - la courbe de frottement $F(c) = e^{-\beta c}$.

Notez brièvement (1 à 2 phrases chacun):

- Que se passe-t-il pour la durée moyenne du trajet lorsque β devient plus négatif?
- La convergence devient-elle plus facile ou plus difficile pour les valeurs extrêmes de β ?

Réflexion & perspicacité

Vérification intuitive: un coefficient β plus négatif signifie une pénalité plus forte pour les longs trajets, de sorte que les flux devraient se concentrer sur les paires OD à courte distance et que la longueur moyenne des trajets devrait diminuer.

5 Activité 4 – Contribution des élèves + curseur β (dissuasion exponentielle)

Cette activité combine *vos propres données* avec un curseur interactif β . Vous travaillerez avec `Gravity_Model_Student_Input(Exponential Deterrence Function).ipynb`.

Tâche 6: Définissez votre propre système OD

Objectif: Créez un petit système OD et analysez-le sous différentes valeurs β .

Étapes:

1. Téléchargez le notebook sur Colab.
2. Exécutez les cellules d'importation/configuration.
3. Dans la section d'entrée, spécifiez:
 - nombre de zones (4 ou 5 recommandé),
 - productions P_i pour chaque zone,
 - attractions A_j ,
 - matrice des coûts de déplacement C_{ij} (minutes ou coût généralisé).
4. Assurez-vous que vos valeurs P et A sont réalistes et à peu près équilibrées (même total ou presque).

Exemples de choix (vous pouvez les modifier):

- Zone 1: grande zone résidentielle (production élevée),
- Zone 2: quartier central des affaires (attractivité élevée),
- Zone 3: université (production et attractivité moyennes),
- Zone 4: zone industrielle, etc.

Tâche 7: Exécuter le modèle pour plusieurs valeurs β

Objectif: Effectuer une petite analyse de sensibilité sur votre système OD.

Étapes:

Utilisez le curseur β dans le cahier pour sélectionner au moins trois valeurs différentes, par exemple:

- $\beta_1 = -0.01$,
- $\beta_2 = -0.035$,
- $\beta_3 = -0.10$.

1. Pour chaque β :
 - exécuter le modèle gravitationnel,
 - enregistrer la matrice des trajets,
 - noter la longueur moyenne des trajets,
 - examiner la carte thermique de T_{ij} ,
 - examiner le graphique de convergence/erreur et la courbe de friction.
2. Enregistrez les captures d'écran ou les images téléchargées des graphiques clés pour chaque β (vous en aurez besoin pour le rapport de devoirs).

Questions:

- Comment la répartition des trajets évolue-t-elle lorsque vous passez de β_1 à β_3 ?
- Quels couples OD perdent/gagnent des trajets à mesure que la dissuasion s'intensifie?

6 Activité 5 – Matrice manuelle des facteurs de frottement

Le notebook `Gravity_Model_Manual_Friction.ipynb` vous permet de fournir directement la matrice de frottement F_{ij} au lieu d'utiliser une formule spécifique.

Tâche 8: Exécuter le modèle Gravity avec F_{ij} personnalisé

Objectif : Observer comment une matrice de frottement arbitraire modifie les schémas de déplacement.

Étapes:

1. Téléchargez `Gravity_Model_Manual_Friction.ipynb` sur Colab.
2. Exécutez les cellules de configuration.
3. Entrez les mêmes productions P , attractions A et matrice de coûts C que vous avez utilisées précédemment (si nécessaire).
4. Dans la section où la matrice de friction manuelle F_{ij} est définie, créez:
 - une version qui favorise fortement certaines paires OD (par exemple, les liaisons CBD),
 - ou une version qui pénalise une paire de zones particulière.
5. Exécutez le modèle gravitationnel avec votre F_{ij} manuelle et examinez:
 - la matrice de déplacements résultante,
 - tout changement dans la convergence,
 - les différences par rapport au cas de la fonction de friction exponentielle.

Commentaire succinct:

- Que se passe-t-il si un F_{ij} est beaucoup plus grand/petit que les autres ?
- Votre matrice manuelle se comporte-t-elle de manière similaire à une exponentielle β , ou est-elle plus extrême ?

Réflexion & perspicacité

Le manuel F_{ij} vous offre un contrôle total: vous pouvez imiter les péages, les zones réglementées ou les corridors très attractifs en modifiant certaines entrées spécifiques de la matrice.

7 Activité 6 – Prédiction de la demande en transport (régression)

Le notebook `Transport_Demand_Regression_Lab.ipynb` montre comment utiliser la régression pour prédire la demande des passagers en fonction des caractéristiques des itinéraires, telles que la distance et le prix du billet.

Tâche 9: Exécuter le cahier de régression

Objectif: Ajuster un modèle de régression simple aux données relatives à la demande de transport.

Étapes:

1. Téléchargez `Transport_Demand_Regression_Lab.ipynb` sur Colab.
2. Exécutez toutes les cellules de haut en bas:
 - chargement de l'ensemble de données,
 - analyse exploratoire des données (EDA),
 - division en ensembles d'entraînement et de test,
 - entraînement d'un modèle de régression linéaire,
 - évaluation des performances (par exemple, R^2 , mesures d'erreur).
3. Identifiez les caractéristiques clés utilisées dans la régression (par exemple, distance, tarif, type d'itinéraire).

Questions:

- Quelles variables ont la relation la plus forte avec la demande des passagers?
- Le modèle sous-estime-t-il ou surestime-t-il certaines liaisons intéressantes?

Réflexion & perspicacité

Ce modèle de régression est lié à la répartition des voyages : de bonnes prévisions de la demande vous aident à définir des productions et des attractions réalistes pour vos zones.

8 Devoirs – Modèle gravitationnel avec exploration de la sensibilité

Votre devoir est basé sur le modèle gravitationnel avec friction exponentielle et sensibilité β , tel que décrit dans les diapositives du laboratoire 6 (section 6).

Tâche 10: Définissez votre propre système OD (4 à 5 zones)

Objectif: Construire un système OD petit mais significatif pour l'analyse.

Étapes:

1. Choisissez un système à 4 ou 5 zones représentant une ville ou une région simple.
2. Pour chaque zone, définissez:
 - La production P_i (par exemple, le nombre de trajets d'origine),
 - L'attraction A_j (par exemple, les emplois, les écoles, les services).
3. Créez une matrice des coûts de déplacement C_{ij} (en minutes ou en coûts généralisés).
4. Assurez-vous que vos valeurs P et A sont réalistes et que la production totale correspond approximativement à l'attraction totale.

Tâche 11: Exécuter Gravity_Model_Student_Input (Exponential) pour plusieurs valeurs de β

Objectif: Analyser comment différentes valeurs de β affectent votre système OD.

Étapes:

1. Ouvrez `Gravity_Model_Student_Input(Exponential_Deterrence_Function).ipynb`.
2. Entrez vos valeurs P , A et C .
3. Exécutez le modèle pour au moins trois valeurs β différentes, par exemple:
 - $\beta_1 = -0,01$,
 - $\beta_2 = -0,035$,
 - $\beta_3 = -0,10$.
4. Pour chaque β , enregistrez:
 - la matrice de trajet finale T_{ij} ,
 - le comportement de convergence (itérations, graphique d'erreur),
 - la longueur moyenne des trajets,
 - la carte thermique des trajets,
 - la courbe de friction $F(c)$.
5. Enregistrez votre fichier `.ipynb` modifié et exportez les graphiques (captures d'écran ou images) pour le rapport.

Tâche 12: Analyse et rapport

Objectif: Résumez et interprétez vos conclusions dans un bref rapport.

Contenu minimum:

- Une brève description de votre système OD (zones, P , A , C).
- Une section comparant les trois scénarios β :
 - comment la répartition des trajets a changé,
 - comment la vitesse de convergence et les erreurs ont changé,
 - comment la longueur moyenne des trajets et les courbes de friction ont changé.
- 2 à 3 paragraphes de discussion reliant vos observations à la planification des transports:
 - pourquoi une dissuasion plus forte entraîne davantage de trajets locaux,
 - quand un planificateur peut préférer un modèle " β élevé" plutôt qu'un modèle " β faible".
- Conclusion avec vos principales conclusions.
- Joignez (ou intégrez) les matrices de trajet, les cartes thermiques et les graphiques sélectionnés sous forme de figures ou d'annexes.

Livrables:

- Votre fichier `.ipynb` modifié.
- Un rapport au format PDF (la structure peut suivre la suggestion de la diapositive du laboratoire 6: titre, objectifs, introduction, méthodologie, résultats β , discussion, conclusion, références, annexes).

Réflexion & perspicacité

Concentrez-vous sur l'histoire: comment la modification de β modifie-t-elle les habitudes de déplacement dans votre petite "ville" et quelles en sont les implications pour les décisions en matière d'urbanisme (par exemple, où investir dans les capacités ou dans de nouveaux services)?