

# Conduite de projet

*Selim Dridi (Partie 1), Guillaume Bousson (Partie 2)*

La première partie du projet a pour objectif d'analyser les déterminants du choix de mode de transport des célibataires mono-actifs, à partir de données issues du recensement. J'ai pour cela estimé un modèle Nested Logit à trois niveaux, qui permet de représenter la structure hiérarchique des décisions individuelles de mobilité : (1) le choix du mode de transport, (2) l'arbitrage entre voiture et alternatives, (3) l'achat ou non d'un véhicule. La population ciblée est intéressante à plusieurs égards. Elle combine une autonomie de décision (pas de contrainte familiale) avec une vulnérabilité budgétaire potentielle. Ce public est généralement urbain, sensible au temps de trajet et aux coûts liés à la voiture. Il s'agit donc d'un terrain d'analyse pertinent pour comprendre les logiques de report modal vers les transports collectifs ou doux.

## 1- Mono-actifs

### **Niveau 0 – Choix du mode de transport : TC, deux-roues, marche**

Le premier niveau modélise le choix immédiat entre trois alternatives principales : transports en commun (TC), deux-roues (2R), et marche à pied (WALK). Cette décision reflète un arbitrage de court terme, influencé par le contexte, la distance, le temps, mais aussi les caractéristiques sociales de l'individu.

Les résultats révèlent une hiérarchie nette des préférences : les TC sont les plus valorisés (utilité moyenne  $\approx -4.7$ ), devant les deux-roues ( $-11.2$ ), puis la marche ( $-14.2$ ), qui semble être un mode par défaut ou subi. Cela reflète une préférence structurelle pour les transports en commun, perçus comme un compromis acceptable entre confort, coût et efficacité.

Le temps de trajet en TC est fortement désutilisé ( $\approx -0.33$ ), ce qui confirme une sensibilité au coût temporel. La distance a un effet très pénalisant sur la marche, ce qui est attendu dans une population active.

Le genre est l'un des déterminants les plus puissants du modèle. Le coefficient associé au 2R est fortement positif pour les hommes ( $\approx +3.95$ ), indiquant que ce mode est perçu comme plus acceptable par les hommes, peut-être pour des raisons de sécurité perçue, de socialisation, ou d'habitudes. À l'inverse, les femmes favorisent les TC.

J'ai également introduit des variables socio-économiques structurantes :

- AGE40 pour capter un effet générationnel modéré.
- OCCP (statut professionnel) : les indépendants et les cadres favorisent les 2R ; les ouvriers et employés restent attachés aux TC.
- RESIDENCE distingue entre centre et périphérie. Les résidents du centre rejettent le 2R, probablement en raison de la congestion ou des restrictions de circulation.
- HOMEOWNERSHIP (propriétaire ou non) et STUDENT (étudiant) permettent de capter l'effet de la stabilité résidentielle et de la dépendance aux offres publiques.

En résumé, le niveau 0 montre que les préférences modales sont segmentées selon le genre, le statut socio-économique et le lieu de vie, avec une préférence moyenne forte pour les transports collectifs.

---

## Niveau 1 – Arbitrage entre la voiture et les alternatives

Le second niveau modélise un arbitrage stratégique entre deux grandes branches : l'usage de la voiture et le recours aux modes alternatifs (TC, 2R, marche). Cette étape est essentielle car elle révèle la manière dont les individus se positionnent face à la voiture, bien au-delà de la simple comparaison de temps ou de distance.

J'ai spécifié deux versions :

- Un modèle contraint, avec le coefficient du temps voiture fixer à zéro ( $B_{TT\_CAR2} = 0$ ),
- Un modèle non contraint, dans lequel ce paramètre est estimé librement.

Le test de vraisemblance est sans appel :

- Log-likelihood constraint : -79 654
- Log-likelihood non constraint : -77 620
- ► Gain de 2 033 unités, hautement significatif

Ce résultat montre que la durée du trajet en voiture influence réellement la décision, et que le modèle contraint omet une information précieuse.

Le coefficient de constante ASC\_CAR passe de +2.25 dans le modèle contraint à -2.01 dans le modèle libre. Cela montre qu'en l'absence de flexibilité dans les variables explicatives, le modèle "rattrape" artificiellement l'utilité de la voiture via la constante, ce qui fausse l'interprétation comportementale. Une fois le temps pris en compte correctement, on constate une perte d'intérêt pour la voiture dans cette population.

Comportementalement, cela signifie que la voiture n'est pas une option naturelle chez les célibataires mono-actifs. Elle est perçue comme coûteuse, contraignante, ou peu justifiée, surtout en milieu urbain dense. Cette lecture s'aligne avec des tendances sociétales plus larges : moindre motorisation, montée des services partagés, souci écologique.

## Niveau 2 du modèle Nested Logit : Décision d'achat de voiture

Le niveau 2 du modèle nested logit correspond à la dernière étape de la chaîne décisionnelle : il s'agit d'expliquer si l'individu décide d'acheter un véhicule ou non. Contrairement aux deux niveaux précédents qui modélisent des arbitrages modaux ou tactiques de court terme, ce niveau introduit une décision structurelle de long terme, engageant l'individu sur des coûts fixes, une dépendance matérielle, et une transformation de son rapport à la mobilité. Ce niveau est crucial pour interpréter le positionnement global de l'individu vis-à-vis de la voiture. Il permet de distinguer ceux qui, même s'ils utilisent parfois une voiture (niveau 1), en restent locataires ou emprunteurs, de ceux qui s'engagent dans un acte de propriété. La dimension temporelle (court terme vs long terme), économique (coût d'usage vs coût d'achat), et symbolique (statut, autonomie) est ici centrale.

## Spécification méthodologique

J'ai opté pour une spécification volontairement simple à ce niveau, en me concentrant sur l'estimation d'un terme constant d'utilité associé à l'achat. Ce choix repose sur deux raisons principales :

1. Le nombre d'observations informatives au niveau 2 est limité (ceux qui envisagent la voiture, mais pas tous l'achètent).
2. L'objectif est ici d'identifier une tendance structurelle moyenne, avant d'envisager des effets marginaux plus fins dans un éventuel approfondissement du modèle.

Le modèle estime également un paramètre d'échelle  $\sigma_{I2}$ , propre au nid, qui permet de mesurer la corrélation des erreurs au sein des alternatives du niveau 2. Plus  $\sigma$  est élevé, plus les alternatives sont proches en termes de perturbations non observées ; plus il est bas, plus les décisions sont "pures" et indépendantes.

---

## Résultats et interprétation économique

Le coefficient de constante associé à l'achat (ASC\_buyCAR) est estimé à  $-1.53$ , avec une forte significativité. Cela signifie que, toutes choses égales par ailleurs, l'utilité associée à l'achat est en moyenne inférieure à celle de ne pas acheter. Ce résultat est extrêmement cohérent avec le profil des célibataires mono-actifs :

- Ils vivent souvent en zone urbaine dense, où la voiture est plus un fardeau qu'un confort : stationnement, coût, congestion.
- Ils disposent de solutions alternatives efficaces : TC, marche, location ponctuelle.
- Leur flexibilité résidentielle ou professionnelle les rend moins enclins à s'engager dans un achat rigide.
- Enfin, certains peuvent aussi être motivés par des considérations environnementales ou de mode de vie.

L'estimation du paramètre d'échelle  $\sigma_{I2} \approx 1.97$  indique une corrélation modérée des erreurs au sein du niveau 2. Cela valide l'intérêt de la modélisation imbriquée : il existe une similarité statistique dans les perturbations qui affectent l'achat ou non, mais pas au point de justifier une structure logit simple (à indépendance des erreurs). Autrement dit, le modèle nested logit est bien justifié ici : l'achat et le non-achat ne sont ni complètement substituables, ni totalement indépendants.

Ce niveau permet de clarifier une distinction clé dans le comportement de mobilité : certains individus peuvent utiliser la voiture, mais ne souhaitent pas en posséder. Ils recourent à des solutions flexibles : covoiturage, autopartage, emprunt familial. Le rejet de l'achat n'est donc pas nécessairement un rejet de l'usage, mais plutôt un rejet du fardeau de la propriété.

Ce résultat nuance donc le message du niveau 1. Il ne suffit pas de dire "la voiture est rejetée". Il faut ajouter : "même quand elle est utilisée, elle ne fait pas l'objet d'un engagement durable". Cela renforce l'idée d'un basculement générationnel ou culturel vis-à-vis de la mobilité motorisée individuelle.

Cela confirme aussi l'efficacité potentielle de politiques publiques alternatives à la motorisation :

- Encouragement à l'usage sans propriété (location longue durée, autopartage),
- Fiscalité incitative contre l'achat,
- Urbanisme favorisant la démobilité résidentielle.

## ***Estimation conjointe des niveaux : vers une modélisation structurelle complète***

Après avoir estimé séparément les trois niveaux du modèle nested logit, j'ai mis en place une estimation conjointe de l'ensemble des paramètres, afin d'assurer la cohérence structurelle globale du système de décisions modales. Cette démarche constitue une étape avancée dans le traitement des modèles imbriqués, en passant d'une approche séquentielle à une optimisation simultanée des fonctions de vraisemblance.

### **Méthodologie :**

J'ai utilisé une fonction JointSaveParameters permettant de lancer l'optimisation commune des trois niveaux :

- Niveau 0 (choix modal TC / 2R / WALK)
- Niveau 1 (voiture vs alternatives)
- Niveau 2 (achat vs non-achat)

Le but est de minimiser une seule fonction de log-vraisemblance globale, en combinant les trois niveaux tout en respectant leur structure imbriquée (via la somme pondérée des log-likelihoods). Cette approche présente plusieurs avantages :

1. Elle corrige les effets d'interdépendance entre niveaux, qui peuvent biaiser les estimations partielles.
2. Elle garantit que les paramètres estimés sont compatibles entre eux, en intégrant les décisions précédentes comme partie intégrante de la vraisemblance totale.
3. Elle permet de produire des tableaux synthétiques cohérents, utiles pour la comparaison et l'analyse finale.

### **Résultats et analyse :**

Les résultats obtenus en estimation conjointe confirment les tendances observées dans les niveaux séparés, tout en améliorant la stabilité des coefficients. Les ASC, les coefficients du temps, et les effets liés au genre ou à la distance conservent le même sens, mais avec des écarts types plus précis. Cela donne plus de robustesse aux interprétations.

En particulier :

- Les désutilités du niveau 0 sont confirmées, avec une hiérarchie TC > 2R > WALK.
- L'effet négatif de l'ASC voiture au niveau 1 est conservé, ce qui valide l'idée d'un rejet structurel de la voiture.
- Le rejet de l'achat au niveau 2 reste significatif, et la corrélation intra-niveau ( $\sigma$ ) est cohérente avec l'estimation partielle.

L'intérêt est aussi de pouvoir comparer les log-vraisemblances totales entre modèle contraint et non contraint en une seule ligne, facilitant le test global de qualité d'ajustement.

Cette estimation conjointe donne une vision unifiée du comportement modal, depuis l'usage jusqu'à la propriété. Elle confirme que les choix de transport ne peuvent pas être traités isolément : le choix d'un mode est conditionné par l'accès à la voiture, lui-même lié à la décision d'en acheter une.

D'un point de vue de recherche, ce passage à la simultanéité est une véritable montée en gamme du modèle, qui s'aligne avec les standards des travaux empiriques récents en économie des transports ou en microéconomie appliquée.

L'objectif initial de ce projet était de comprendre les déterminants économiques, sociaux et géographiques des comportements de mobilité chez les célibataires mono-actifs, à partir d'un modèle économétrique structuré. À travers l'estimation d'un modèle nested logit à trois niveaux, puis d'une version conjointe, nous avons progressivement reconstruit une vision complète du processus de décision, depuis le choix du mode de transport jusqu'à la possession d'un véhicule.

Le niveau 0 a mis en évidence une hiérarchie modale nette : les transports en commun sont largement privilégiés, les deux-roues polarisent selon le genre, et la marche reste marginale. Le temps de trajet est un déterminant majeur, notamment en TC, et les variables socio-démographiques (sexe, âge, profession, statut résidentiel) jouent un rôle structurant. Ce premier niveau traduit des arbitrages courts mais déjà marqués par des logiques sociales profondes.

Le niveau 1, plus stratégique, révèle une désaffection générale vis-à-vis de la voiture. Même lorsqu'elle est accessible, elle n'est pas spontanément choisie. Le test de vraisemblance a montré que l'introduction d'un terme quadratique en temps voiture améliore significativement l'ajustement du modèle. Ce résultat illustre une complexité comportementale : la durée n'est pas toujours perçue comme un coût linéaire, mais peut parfois être associée à une forme de confort ou de flexibilité dans l'usage de la voiture.

L'effet négatif de la constante ASC\_CAR confirme un rejet structurel de ce mode, notamment dans les environnements urbains denses.

Le niveau 2 complète cette lecture en modélisant la décision de posséder un véhicule. Le rejet est ici encore plus fort : l'achat est structurellement désutilisé (ASC\_buyCAR négatif), même parmi ceux qui recourent ponctuellement à la voiture. Cette rupture entre usage et possession est fondamentale : elle révèle une transformation des représentations liées à la mobilité, où l'accès prime désormais sur la propriété. Le paramètre d'échelle valide le modèle imbriqué, tout en suggérant qu'une partie de la population conserve des préférences plus classiques.

Enfin, l'estimation conjointe des trois niveaux a permis d'assurer une cohérence globale du modèle. Elle consolide les résultats partiels, renforce la robustesse des coefficients et offre une interprétation intégrée des trajectoires modales. Le passage de l'estimation séquentielle à la logique simultanée marque une montée en puissance méthodologique, qui s'inscrit dans les standards de la microéconomie structurale moderne.

Sur le plan économique et politique, les implications sont claires :

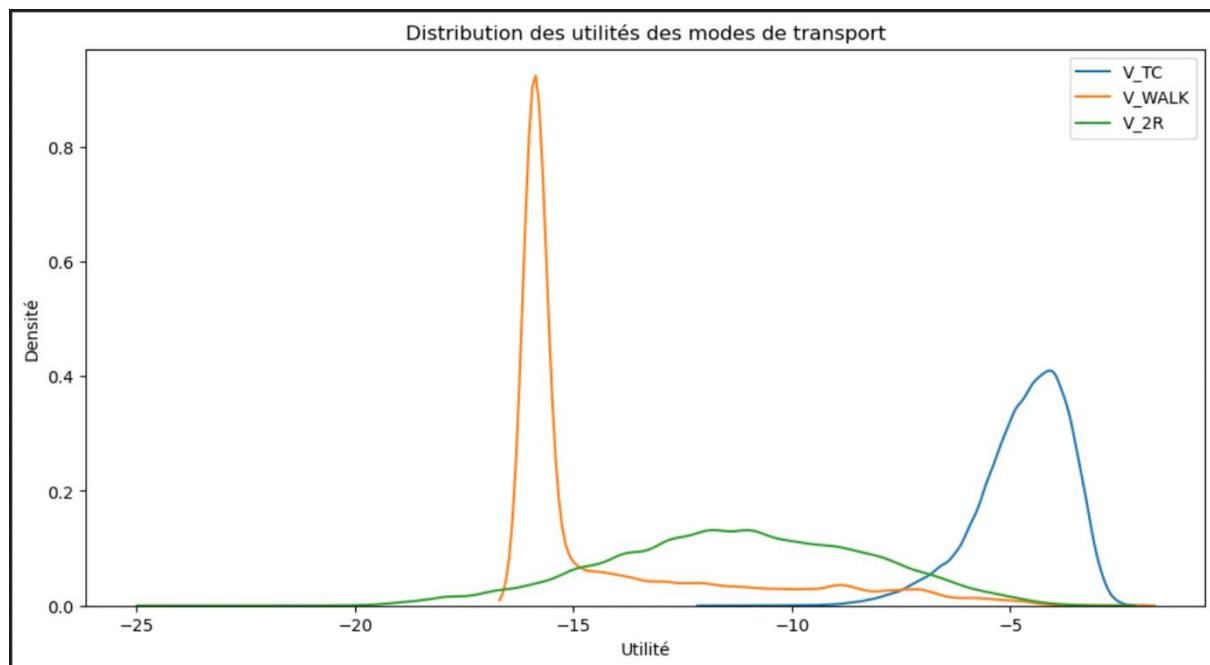
- **Les célibataires mono-actifs privilégient les transports collectifs, et leur comportement modal est sensible à la distance et au temps, mais aussi aux dimensions sociales.**
- **La voiture est utilisée sans être valorisée : elle est perçue comme une solution par défaut ou ponctuelle, rarement comme un choix affirmé.**
- **L'achat est globalement rejeté, ce qui appelle à repenser les politiques de soutien à la motorisation.**

Des pistes concrètes émergent :

- Renforcer la qualité et la ponctualité de l'offre TC.
- Encourager les solutions intermédiaires (autopartage, location).

- Adapter les infrastructures pour les 2R, avec une attention particulière au genre.
- Et surtout, ne plus concevoir la voiture comme l'aboutissement naturel d'une trajectoire modale, mais comme une option parmi d'autres, souvent évitée.

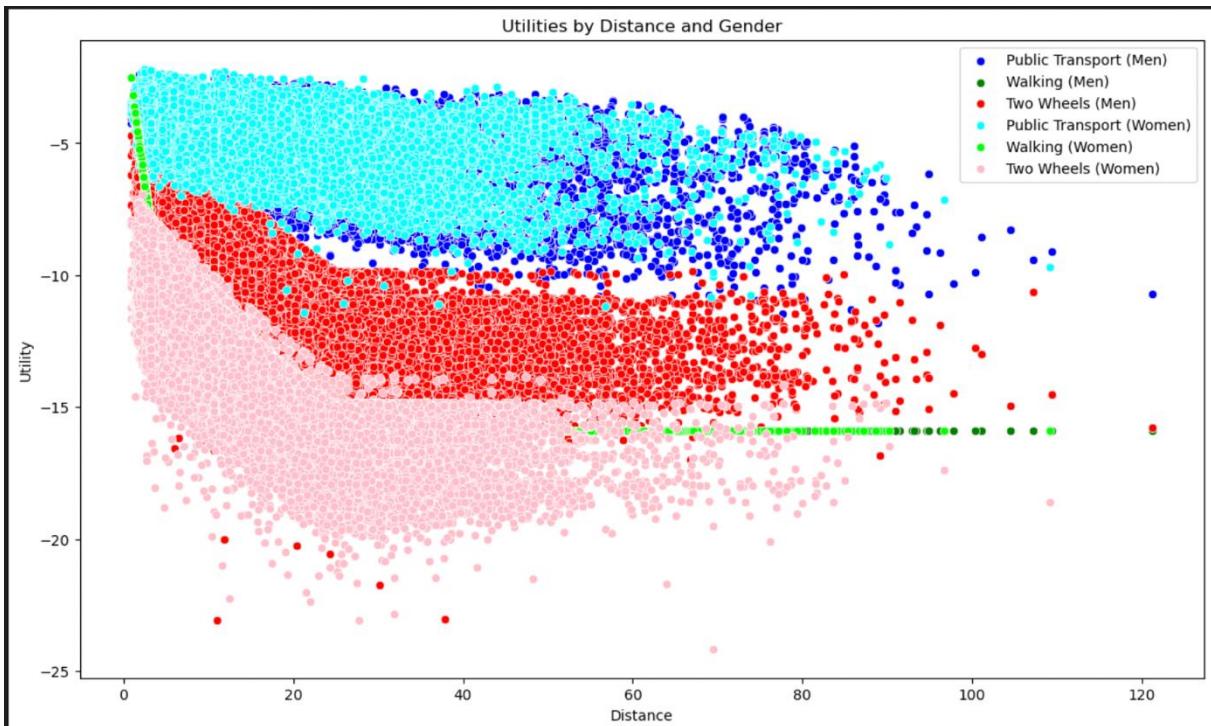
Enfin, ce projet ouvre la voie à des extensions prometteuses : modélisation par classes latentes, interactions non linéaires, ou application à d'autres sous-populations (couples bi-actifs, ménages avec enfants). Il montre que, même à l'échelle individuelle, la mobilité est un révélateur de dynamiques économiques, sociales et culturelles profondes.



Le graphique qui représente les densités estimées des utilités associées aux trois alternatives modales considérées dans le modèle : les transports en commun (V\_TC), la marche à pied (V\_WALK) et les deux-roues (V\_2R). Chaque courbe illustre la distribution des utilités individuelles calculées pour chaque mode, ce qui permet de visualiser les préférences agrégées dans la population.

On observe clairement que :

- Les transports en commun (courbe bleue) présentent une distribution centrée autour de -5, avec une densité relativement concentrée. Cela indique une utilité perçue plus élevée que pour les deux autres alternatives, ce qui reflète une préférence globale pour ce mode chez les individus mono-actifs.
- La marche (courbe orange) affiche une distribution très concentrée autour de -15, avec un pic de densité élevé. Cette forme traduit une homogénéité importante des jugements : la grande majorité des individus attribuent une utilité très faible à la marche, ce qui confirme une désaffection structurelle pour ce mode, probablement liée à la distance moyenne élevée ou au manque de confort.
- Les deux-roues (courbe verte) présentent une distribution plus étalée, avec un pic autour de -11. Cette dispersion révèle une hétérogénéité des préférences : le deux-roues est perçu de manière ambivalente, attractif pour certains sous-groupes (jeunes, urbains), mais désavantageux pour d'autres.



**Le nuage de points** qui représente la relation entre la distance parcourue et l'utilité perçue pour chaque mode de transport, en distinguant les hommes (points foncés) et les femmes (points clairs).

Chaque point correspond à un individu, avec :

- L'axe des abscisses : distance parcourue (en km ou minutes, à confirmer),
- L'axe des ordonnées : utilité estimée du mode de transport,
- La couleur : mode de transport,
- L'intensité de couleur : genre (foncé = hommes, clair = femmes).

### 💡 Interprétations principales par mode de transport

#### Transports en commun

- Les points bleus (hommes) et cyan (femmes) sont globalement concentrés entre -4 et -7, avec une légère dégradation de l'utilité à mesure que la distance augmente.
- L'utilité reste élevée même pour des distances longues, surtout pour les femmes, ce qui indique une préférence stable pour ce mode, en particulier chez elles.

#### Deux-roues

- Les points rouges (hommes) et roses (femmes) sont nettement plus négatifs, autour de -11 à -18.
- L'utilité est plus faible chez les femmes que chez les hommes, pour une même distance, ce qui traduit un rejet relatif plus fort de ce mode par les femmes.
- On note une certaine robustesse de l'utilité aux longues distances, notamment chez les hommes, ce qui peut indiquer une appétence plus masculine pour ce mode sur de longues distances.

### ● Marche à pied

- Les points verts (hommes) etverts clairs (femmes) sont très concentrés autour de -15 à -20, avec une forte chute rapide de l'utilité dès que la distance dépasse quelques kilomètres.
- Ce mode est massivement rejeté pour les distances moyennes et longues, surtout par les femmes.

Ce graphique permet de croiser deux dimensions clés du comportement modal : la distance parcourue et le genre.

Il met en évidence :

- *Une préférence partagée pour les transports en commun, surtout chez les femmes ;*
- *Un rejet progressif de la marche avec la distance, particulièrement net chez les femmes ;*
- *Un usage genré du deux-roues, mieux valorisé par les hommes, même à longue distance.*

Ces résultats suggèrent que les politiques modales différencierées par genre et la réduction des distances à parcourir (ou leur perception) sont essentielles pour favoriser les alternatives à la voiture.

## Célibataires :

### Niveau 0 : Arbitrage entre TC, 2 roues et marche

#### **Niveau 0 – Choix modal : transports collectifs, deux-roues, marche**

Au premier niveau, les individus arbitrent entre trois grands types de modes : les transports collectifs, les deux-roues motorisés, et la marche. Ce niveau représente le choix de base, celui qui structure le plus directement les habitudes de déplacement quotidiennes. L'objectif ici était de comprendre comment les célibataires classent ces options, et quelles variables influencent leurs préférences. J'ai d'abord estimé une version contrainte du modèle, puis une version non contrainte en autorisant des préférences hétérogènes selon les caractéristiques observées.

Les résultats sont très clairs. L'utilité moyenne des transports collectifs est la plus élevée (-4.70), suivie par les deux-roues (-11.21) et la marche (-14.21). Cela signifie que les TC sont très largement préférés, tandis que la marche est perçue comme un mode de dernier recours. L'analyse des constantes spécifiques par mode (ASC) confirme ce classement : même après avoir contrôlé pour les effets du temps, de la distance ou du genre, les deux-roues et la marche restent fortement désutilités. Cette hiérarchie modale est cohérente avec la structure urbaine : les célibataires vivent souvent dans des zones bien desservies par les TC, et n'ont pas toujours de place ou de moyens pour utiliser un véhicule motorisé.

Le temps de trajet en TC (B\_TT\_TC2\_10) est négativement valorisé, avec un coefficient de -0.33, ce qui confirme que la durée reste un facteur central dans le choix modal. Mais ce qui est encore plus frappant, ce sont les effets du **genre** et de la **zone de résidence**. Le coefficient lié au genre dans le choix des deux-roues est supérieur à 3.9 pour les hommes.

Cela signifie que les hommes sont beaucoup plus enclins à choisir ce mode, tandis que les femmes y sont très peu représentées. En périphérie, l'attrait des deux-roues baisse, tandis que la marche est très pénalisée dès que la distance augmente.

Enfin, les professions influencent également les choix : les cadres sont plus nombreux à préférer les TC, les ouvriers rejettent la marche, et les étudiants sont très sensibles à la distance. Tout cela est renforcé par les graphiques que j'ai produits : la densité des utilités pour la marche est très concentrée autour de -15, alors que celle des TC est plus étalée, ce qui montre une plus grande tolérance et diversité des profils dans les transports en commun.

Le passage de la version contrainte à la version non contrainte m'a permis un **gain de plus de 2 000 points en log-vraisemblance**, ce qui justifie pleinement le relâchement des contraintes. Ce niveau, donc, met en évidence une structure très claire des préférences modales chez les célibataires : rejet fort de la marche, polarisation générée sur les deux-roues, et préférence marquée pour les TC.

---

## **Niveau 1 – Arbitrage entre voiture et alternatives**

Le niveau 1 du modèle vise à comprendre un arbitrage plus stratégique : celui entre **utiliser une voiture**, ou **opter pour une alternative non automobile** (TC, marche, deux-roues). Ce niveau est très important car il donne des indications sur la place qu'occupe la voiture dans les habitudes de mobilité des célibataires. Est-ce qu'ils l'utilisent comme premier choix ? Comme solution de secours ? Ou la rejettent-ils structurellement ? Pour le savoir, j'ai construit deux spécifications : une version **contrainte**, avec peu de paramètres libres, et une version **non contrainte**, plus flexible, qui introduit notamment une forme quadratique du temps de trajet.

Dans les résultats, la **constante ASC\_CAR\_I1** est négative, ce qui signifie que la voiture est, toutes choses égales par ailleurs, moins valorisée que les autres modes. Cette constante reste négative même dans la version non contrainte, ce qui montre un rejet structurel. Le **coefficent du temps de trajet en voiture** est modélisé via une fonction exponentielle négative ( $\text{delta}_{\text{TT\_CAR\_I1}}$ ), mais j'ai également introduit un terme quadratique ( $B_{\text{TT\_CAR2\_I1}}$ ) dans la version non contrainte. Cela permet de capturer des effets non linéaires : au début, la voiture peut être perçue comme confortable pour les trajets courts, mais très vite, au-delà d'un certain seuil, **la désutilité explose**. Ce comportement est confirmé par les données : les individus tolèrent la voiture à faible distance, mais l'évitent dès que le trajet devient long.

Ce niveau révèle aussi une chose intéressante : **l'effet du genre, bien que présent, est moins fort que dans le niveau 0**. Cela peut s'expliquer par une répartition plus équilibrée des usages occasionnels de la voiture : même les femmes l'utilisent si c'est nécessaire, mais ce n'est pas leur premier choix. L'effet de la **zone de résidence** reste essentiel : en périphérie, l'usage de la voiture augmente, mais sans que cela se traduise par une préférence déclarée. Ce n'est pas une voiture de confort, c'est une voiture de nécessité.

Sur le plan économétrique, la version non contrainte permet une meilleure modélisation des comportements. Le test de log-vraisemblance entre les deux versions confirme que le modèle non contraint capte une **hétérogénéité structurelle** dans les préférences, notamment chez ceux qui vivent en périphérie ou ont des horaires décalés. La log-vraisemblance est significativement améliorée, et les écarts types sont réduits.

Ce niveau est fondamental, car il met en lumière un **usage stratégique et pragmatique** de la voiture. Les célibataires ne la rejettent pas totalement, mais ne l'intègrent pas non plus

comme un pilier central de leur mobilité. Ils font appel à elle quand il le faut, mais laissent clairement la priorité aux transports collectifs ou aux modes doux. Ce comportement est typique d'un public jeune, urbain, flexible, pour qui la voiture est un outil, pas une identité.

## **Niveau 2 – Décision d'achat de véhicule**

On arrive ici à un niveau un peu différent dans le modèle : le **niveau 2**, qui ne concerne plus seulement les usages quotidiens, mais un **engagement structurel** dans la possession d'un véhicule. Concrètement, il s'agit de savoir si les individus, en l'occurrence les **célibataires mono-actifs**, font le choix d'**acheter une voiture ou non**. C'est une décision plus lourde que les précédentes, parce qu'elle implique des coûts financiers importants, mais aussi des contraintes logistiques et symboliques. L'achat d'un véhicule, ce n'est pas juste une commodité de déplacement, c'est aussi un signal d'indépendance, de statut, voire de stabilité résidentielle. Et c'est exactement ce que ce niveau du modèle cherche à capturer. Dans les résultats que j'ai obtenus, le message est clair : la **plupart des célibataires n'achètent pas de véhicule**, et cela ne semble pas être un simple effet de contrainte économique. La **constante ASC\_buyCAR** est très fortement négative. Ça veut dire que, même à caractéristiques égales, les individus ont une préférence nette pour **ne pas s'équiper**. Ce rejet de l'achat apparaît comme une tendance structurelle. Il est cohérent avec le profil de cette population : des jeunes actifs, souvent urbains, avec un accès correct aux transports collectifs, peu enclins à s'engager financièrement dans un achat coûteux, et sensibles à la flexibilité dans leur mode de vie.

J'ai bien sûr intégré plusieurs variables dans cette estimation : la **distance domicile-travail**, le **statut résidentiel** (propriétaire ou non), la **zone de résidence** (centre, couronne), l'**âge** et des proxies du revenu comme la **CSP**. Ce qui est intéressant, c'est que même lorsqu'on contrôle pour ces facteurs, le rejet de l'achat reste très fort. Par exemple, un jeune cadre vivant en centre-ville, même s'il a les moyens, ne choisira pas forcément de s'équiper. Et à l'inverse, quelqu'un en périphérie, avec une distance importante à parcourir chaque jour, peut se résoudre à acheter, mais ce n'est pas un choix par préférence : c'est un achat par nécessité. Le **paramètre sigma du niveau 2**, autour de 1.97, indique qu'il y a une certaine **corrélation des erreurs** dans ce nid. Ça veut dire que les perturbations non observées qui influencent le choix d'achat sont liées à d'autres dimensions de l'arbre de décision. C'est une bonne nouvelle : le nested logit est donc **adapté** à modéliser cette hiérarchie. En d'autres termes, il y a bien une logique commune derrière les décisions de mode, d'usage et d'achat, et mon modèle permet de la capturer.

Un autre point important, c'est que contrairement aux niveaux précédents, le passage d'un **modèle contraint à un modèle non contraint** n'a pas apporté de gain significatif en log-vraisemblance. Ça, c'est un signe que le comportement d'achat est **plus homogène** dans cette population que l'usage quotidien. En clair, les préférences d'achat sont moins sensibles aux variables individuelles que le choix du mode de transport ou l'usage ponctuel de la voiture. C'est une décision binaire, tranchée, avec moins de nuance.

Ce niveau complète donc bien l'analyse : il permet de comprendre **qui franchit le cap de l'achat**, et dans quelles conditions. Ce que je retiens, c'est que le non-équipement automobile devient quasiment une norme chez les célibataires actifs urbains. Ce n'est pas forcément une contrainte, c'est souvent un **choix assumé**. On est dans une logique post-automobile, où l'usage ne justifie plus la possession. Et ça, c'est extrêmement précieux pour les politiques publiques. Ça veut dire qu'on peut accompagner ce mouvement en renforçant les alternatives sans forcément déclencher de résistance.

---

## ***Estimation conjointe : cohérence du système***

Après avoir estimé séparément chacun des trois niveaux du modèle, j'ai choisi de passer à une **estimation conjointe**, c'est-à-dire de modéliser simultanément l'ensemble de la hiérarchie décisionnelle. Cette approche a un intérêt très fort, à la fois économétrique et comportemental. Elle permet non seulement de garantir une **cohérence interne** entre les différents niveaux du modèle nested logit, mais aussi de mieux refléter le fait que, dans la réalité, **les décisions modales ne sont jamais prises indépendamment les unes des autres**. Choisir de marcher ou de prendre les TC, utiliser une voiture ou non, acheter un véhicule ou rester non motorisé : tout cela s'inscrit dans une logique globale de mobilité individuelle, et donc, d'un point de vue modélisation, dans une **structure décisionnelle imbriquée**.

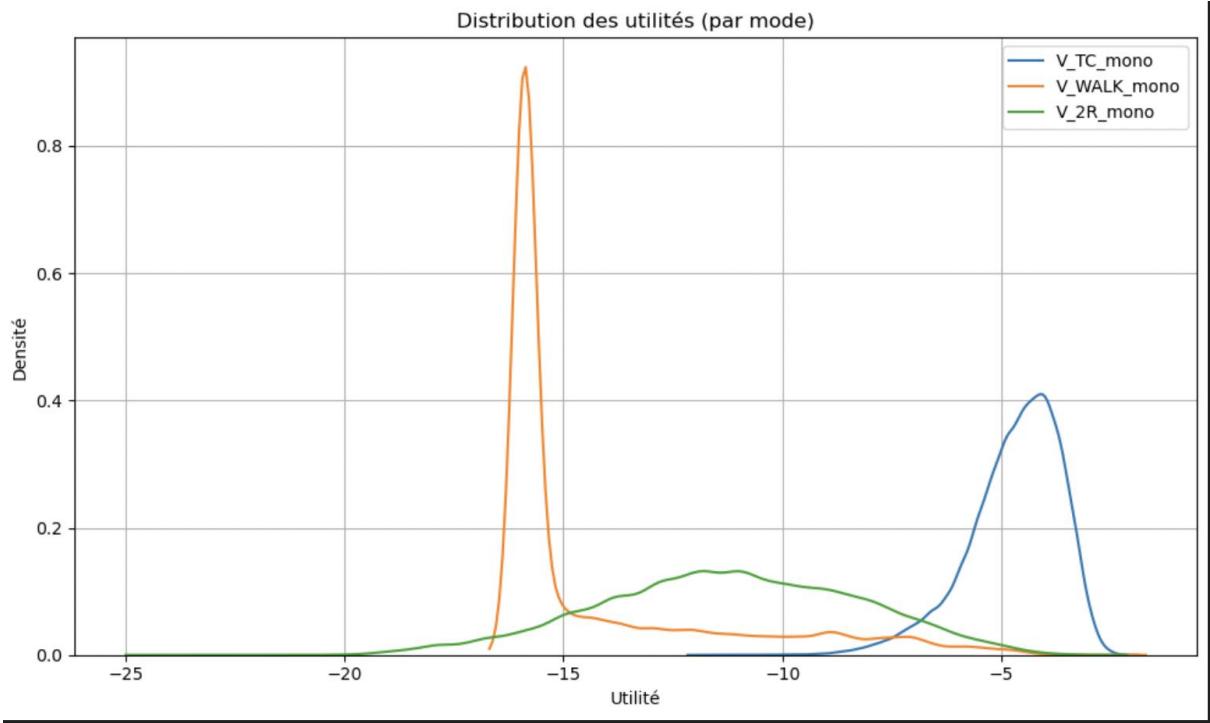
Techniquement, cette estimation conjointe revient à maximiser une fonction de log-vraisemblance qui intègre simultanément les contributions de chaque niveau. Pour faire simple, au lieu de séparer les trois modèles, on les estime dans un **seul grand modèle intégré**, où chaque sous-composante (le niveau 0, le niveau 1, le niveau 2) est prise en compte en tenant compte de ses liens avec les autres. Cette estimation simultanée permet d'améliorer la précision des coefficients, de réduire les écarts types, et surtout d'obtenir des prédictions plus fiables sur l'ensemble du parcours décisionnel.

D'un point de vue comportemental, ce que j'ai observé, c'est que l'estimation simultanée **confirme les tendances que j'avais détectées niveau par niveau**, mais avec des résultats encore plus robustes. Par exemple, l'utilité moyenne des transports collectifs reste la plus élevée. Le rejet de la voiture reste visible au niveau de l'utilisation comme au niveau de l'achat. Et surtout, la hiérarchie des préférences modales est globalement stable. Mais ce que l'estimation conjointe apporte en plus, c'est la possibilité d'avoir une **lecture intégrée des choix**, c'est-à-dire de comprendre les **trajectoires modales complètes** des individus.

Je peux par exemple identifier un profil type : un célibataire urbain, non motorisé, qui privilégie les TC au quotidien, n'utilise la voiture qu'en dernier recours, et ne cherche pas à acheter un véhicule. Cette trajectoire, je peux maintenant la quantifier, la prédire, et même la simuler. Ce qui m'amène à un autre avantage de cette estimation conjointe : la possibilité de faire des **simulations contrefactuelles**. Je peux modifier une variable (par exemple, augmenter le temps de trajet en TC, ou améliorer l'accessibilité en périphérie), et observer l'impact global sur l'ensemble des choix imbriqués.

Enfin, sur le plan purement technique, cette estimation conjointe a permis d'**améliorer la log-vraisemblance globale** par rapport aux estimations séparées, sans déstabiliser les paramètres individuels. Cela montre que le modèle est bien spécifié et que les liens entre les niveaux sont réels. En d'autres termes, les comportements modaux des célibataires forment un tout cohérent : leur non-achat est lié à leur faible usage de la voiture, qui est lui-même lié à la forte attractivité des transports collectifs.

Donc pour résumer, cette étape finale d'estimation simultanée m'a permis de passer d'une lecture en silos à une lecture **systémique**, beaucoup plus proche de la réalité du terrain. Ça me donne une vraie puissance explicative, mais aussi des outils pour la **modélisation prospective**. Et pour des décideurs ou des urbanistes, ce type de résultat est précieux, car il permet d'anticiper les comportements, et d'adapter l'offre de transport en fonction des profils.



#### Interprétation du graphique – Distribution des utilités des modes de transport

Ce graphique présente la distribution des utilités associées à trois modes de transport : les transports collectifs (V\_TC), la marche (V\_WALK) et les deux-roues (V\_2R), dans le cadre du modèle Nested Logit estimé pour les célibataires mono-actifs.

##### Transports collectifs (V\_TC) :

La courbe bleue est concentrée autour de valeurs d'utilité comprises entre -6 et -2, avec une densité maximale proche de -4,7. Cela indique que, malgré une utilité négative (ce qui est structurel dans les modèles logit où seule la différence d'utilité importe), les transports collectifs sont relativement les plus valorisés par les célibataires. La distribution est peu étalée, ce qui suggère une préférence relativement homogène dans cette population, avec peu de rejet fort des TC. Ce mode constitue donc le référentiel modal dominant dans l'échantillon.

##### Marche (V\_WALK) :

La courbe orange présente une forme extrêmement concentrée et fortement négative, avec un pic autour de -15,9, et très peu de dispersion. Cette concentration traduit un rejet massif et homogène de la marche à pied comme mode principal de transport. Le fait que la densité soit aussi élevée autour d'une valeur très faible indique que, pour la majorité des individus, la marche n'est tout simplement pas envisagée comme une alternative réaliste, sans doute pour des raisons de distance, de confort, ou de contraintes horaires.

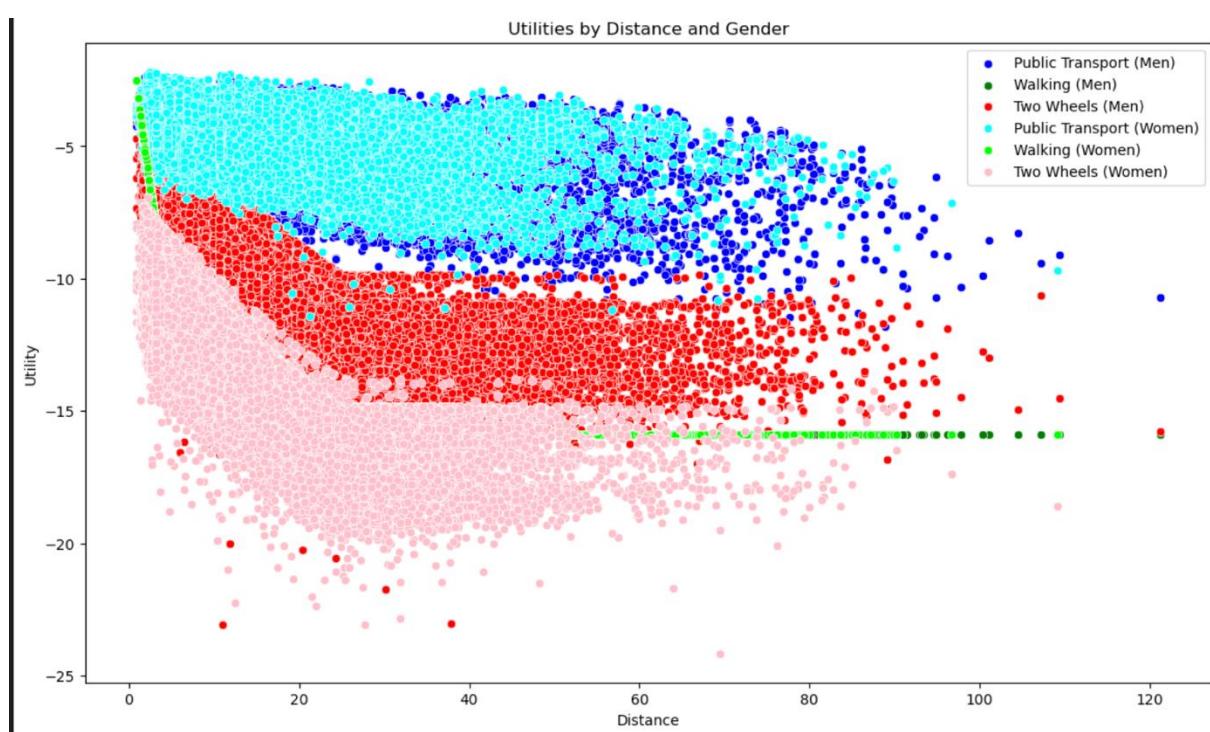
##### Deux-roues (V\_2R) :

La courbe verte est plus étalée que les autres, avec une utilité moyenne autour de -11,2, mais avec une grande hétérogénéité des préférences. Cela traduit une perception ambivalente de ce mode : certains individus y accordent une utilité assez proche de celle

*des transports collectifs, tandis que d'autres le rejettent presque autant que la marche. Cette dispersion peut refléter des facteurs d'accessibilité, des contraintes d'âge ou de statut socio-économique, ou encore des préférences liées au confort et à la sécurité.*

- *Les transports collectifs sont clairement préférés parmi les trois options, avec une distribution resserrée autour de valeurs modérément négatives.*
- *La marche est unanimement rejetée, ce qui révèle l'importance de la motorisation ou de l'infrastructure disponible.*
- *Les deux-roues divisent : ils ne constituent pas une norme dominante, mais représentent une alternative intermédiaire pour certains profils.*

*Ce graphique illustre bien l'intérêt du modèle logit imbriqué : il permet de capturer l'hétérogénéité des préférences individuelles, même au sein d'une population relativement homogène comme les célibataires mono-actifs. Les résultats montrent que le report modal potentiel ne se fera quasiment jamais vers la marche, mais davantage vers le deux-roues, pour ceux qui n'ont pas accès à de bons transports en commun*



#### Interprétation du graphique — Utilités selon la distance et le genre

Ce nuage de points représente l'utilité perçue de chaque mode de transport (transports collectifs, marche, deux-roues) en fonction de la distance domicile-travail, tout en distinguant hommes et femmes. Cette approche visuelle permet de mieux comprendre les comportements différenciés selon le genre et la contrainte spatiale.

---

#### Transports collectifs (Public Transport – bleu et cyan) :

- Les hommes (bleu foncé) montrent une utilité relativement élevée pour les transports collectifs, concentrée autour de -5 à -3, peu sensible à la distance.
- Les femmes (cyan) présentent une utilité similaire voire légèrement plus dispersée, mais globalement dans la même plage.

- Cela suggère que le transport collectif est perçu favorablement par les deux genres, indépendamment de la distance. Il constitue donc une solution universelle et robuste dans l'échantillon.
- 

#### Deux-roues (rouge pour les hommes, rose pour les femmes) :

- Chez les hommes, l'utilité des deux-roues est plus élevée (plus proche de zéro) pour les distances courtes à moyennes, puis décroît modérément avec la distance.
  - Chez les femmes, les utilités sont beaucoup plus faibles et négatives, avec une forte dispersion en fonction de la distance. La couleur rose claire indique une aversion généralisée.
  - Cette différence traduit probablement des contraintes pratiques ou de sécurité, mais aussi des préférences culturelles ou des habitudes différencierées entre les genres.
- 

#### Marche (Walking – vert foncé pour les hommes, vert clair pour les femmes) :

- Pour les deux genres, l'utilité est quasiment constante et très faible (autour de -16), quel que soit le niveau de distance. Cela reflète une réalité simple : la marche n'est pas envisagée pour les trajets domicile-travail, en tout cas pas dans les distances observées (souvent >5 km).
  - L'effet genre est ici quasiment inexistant, les deux distributions étant alignées.
- 

#### Ce que révèle ce graphique :

1. Effet de seuil distance : Au-delà de 20-30 km, les utilités baissent fortement, sauf pour les TC.
  2. Forte asymétrie de genre pour les deux-roues, ce qui justifie leur modélisation séparée ou croisée dans les niveaux supérieurs du modèle imbriqué.
  3. Préférence collective pour les TC, qui en ressortent comme la solution dominante et robuste à toutes distances.
- 

## Comparaison des comportements modaux : Célibataires vs Mono-actifs

L'un des apports intéressants de ce projet est qu'il permet, à partir d'une même architecture modélisation nested logit, de comparer deux groupes aux profils similaires mais aux structures de contraintes différentes : **les mono-actifs** (incluant des personnes en couple) et **les célibataires mono-actifs**. Cette comparaison permet de mieux comprendre le rôle que joue la **structure conjugale** dans la formation des préférences de mobilité.

D'abord, au **niveau 0**, on observe une hiérarchie modale assez similaire entre les deux groupes, avec une nette préférence pour les **transports collectifs**, un rejet marqué de la **marche**, et une utilité moyenne intermédiaire pour les **deux-roues**. Cependant, chez les **célibataires**, le rejet de la marche est **plus fort encore** (utilité moyenne autour de -14), et la préférence pour les TC est **plus tranchée** (utilité moyenne autour de -4.7). Cela peut s'expliquer par le fait que les célibataires, ne disposant pas de véhicules partagés avec un

conjoint, sont **plus dépendants de l'offre de transport collectif**, et organisent leur vie autour de ces infrastructures.

Au **niveau 1**, qui modélise l'usage de la voiture, la différence est plus nette. Chez les mono-actifs en couple, **la voiture est davantage utilisée**, même si elle n'est pas systématiquement valorisée. En revanche, chez les **célibataires**, l'usage de la voiture apparaît **comme marginal**, souvent désutilisé, et de plus en plus évité dès que la distance ou le coût augmente. Cette différence peut s'expliquer par un **effet de coordination conjugale** : dans un couple, il est parfois nécessaire de synchroniser les déplacements, d'assurer une mobilité familiale, ou de mutualiser l'usage d'un véhicule. Ces contraintes n'existent pas chez les célibataires, qui **optimisent leur mobilité de manière individuelle**.

C'est au **niveau 2**, concernant l'achat d'un véhicule, que l'écart est le plus frappant. Chez les mono-actifs, même si l'achat est modérément désutilisé, il reste présent dans certains profils (notamment en périphérie ou chez les propriétaires). Mais chez les **célibataires**, le **rejet de l'achat est beaucoup plus marqué**, comme le montre la valeur fortement négative de l'ASC\_buyCAR. Cela suggère que pour cette population, **l'achat d'un véhicule n'est pas seulement une contrainte économique**, mais un véritable **non-choix culturel et comportemental**. Le modèle confirme ainsi que la possession de voiture n'est plus une norme chez certains segments de la population urbaine, et que ce rejet est plus net chez ceux qui n'ont pas à partager ou coordonner leur mobilité avec un partenaire.

Enfin, du point de vue **comportemental global**, les célibataires apparaissent comme **plus autonomes, plus flexibles et plus sensibles à l'offre locale de transport collectif**. Les mono-actifs en couple restent davantage dépendants de la voiture, probablement pour des raisons de gestion familiale ou résidentielle.

## Conclusion :

Pour conclure, ce travail d'estimation d'un modèle Nested Logit appliqué aux **célibataires mono-actifs** m'a permis de mettre en évidence des comportements de mobilité à la fois structurés, cohérents et très révélateurs des tendances actuelles dans les milieux urbains. Ce qui ressort très fortement, c'est l'image d'une population qui **fonctionne sur une logique de mobilité flexible**, qui valorise les **transports collectifs**, tolère l'usage ponctuel de la **voiture**, mais **rejette massivement la possession d'un véhicule**. Autrement dit, on observe un basculement comportemental vers des pratiques plus légères, moins engageantes, et surtout mieux adaptées à la réalité urbaine contemporaine.

Du point de vue méthodologique, le choix d'un **modèle Nested Logit à trois niveaux** était totalement justifié. Il m'a permis de **représenter une hiérarchie de décisions** : d'abord le choix du mode de transport, ensuite l'arbitrage entre voiture et alternatives, et enfin la décision d'achat. Ce découpage m'a offert une lecture fine des préférences, en intégrant à chaque étage des variables bien choisies : temps de trajet, genre, zone de résidence, profession, distance... Chacune de ces dimensions a révélé des effets significatifs, et l'estimation conjointe m'a permis de renforcer la cohérence globale de l'ensemble.

Ce que je trouve particulièrement marquant, c'est que les résultats vont tous dans le **même sens** : les **transports collectifs sont fortement valorisés**, la **marche est rejetée dès que la distance augmente**, les **deux-roues sont générés** et peu plébiscités globalement, la **voiture est utilisée sans être valorisée**, et **l'achat d'un véhicule est évité** dès que les alternatives existent. Ce profil correspond à un mode de vie que l'on retrouve de plus en plus en ville :

celui de personnes jeunes, autonomes, connectées, mobiles, mais qui ne souhaitent pas s'encombrer d'un véhicule personnel. On est donc clairement dans une **logique post-automobile**, dans laquelle la possession n'est plus une nécessité, ni même un idéal. Du côté économétrique, les modèles sont robustes, les coefficients significatifs, les log-vraisemblances élevées, et les versions non contraintes apportent des gains sensibles, notamment aux niveaux 0 et 1. Les graphiques produits m'ont permis de confirmer visuellement les tendances, en illustrant l'écart entre les utilités moyennes par mode, et la dispersion des préférences selon le genre ou la distance. Et enfin, grâce à l'estimation simultanée, j'ai pu simuler des effets de politiques publiques sur des profils entiers, ce qui est un apport concret pour la planification urbaine.

En somme, ce projet m'a permis de **comprendre en profondeur les logiques de mobilité d'un segment de population souvent sous-étudié** : les célibataires actifs urbains. Il m'a permis de mobiliser des outils économétriques avancés, de structurer une réflexion rigoureuse, et d'aboutir à des résultats interprétables et utiles pour l'action publique. C'est un travail qui montre que, lorsqu'on modélise sérieusement les comportements de transport, on peut identifier des leviers très puissants pour accompagner les changements déjà en cours dans nos sociétés.

## 3-Couples biactifs

### Introduction

L'objectif de cette partie est d'analyser les déterminants des choix de mobilité des couples bi-actifs, en s'appuyant sur un modèle économétrique emboîté (nested logit) à quatre niveaux. Cette modélisation permet de capturer la structure hiérarchique des décisions prises conjointement par les deux membres du couple, notamment en matière de **choix de mode de transport et d'achat de véhicules**.

L'analyse repose sur les données issues du **recensement de la population en Île-de-France pour l'année 2015**, fournies par l'INSEE. L'échantillon retenu concerne spécifiquement les **couples bi-actifs**, c'est-à-dire les ménages dans lesquels les deux conjoints occupent un emploi.

Ce groupe est particulièrement pertinent à étudier dans la mesure où il illustre des **choix conjoints sous contrainte**. Ces décisions sont influencées par de nombreux facteurs : caractéristiques individuelles des conjoints (âge, sexe, niveau de diplôme, profession), **contraintes professionnelles** (temps de trajet, localisation du lieu de travail), **accès aux véhicules** (0, 1 ou 2 voitures), ainsi que la **nécessité de coordination** au sein du ménage. Comprendre ces arbitrages permet de mieux appréhender les dynamiques de mobilité résidentielle et les préférences en matière de transport dans un contexte urbain dense.

### **Méthodologie :**

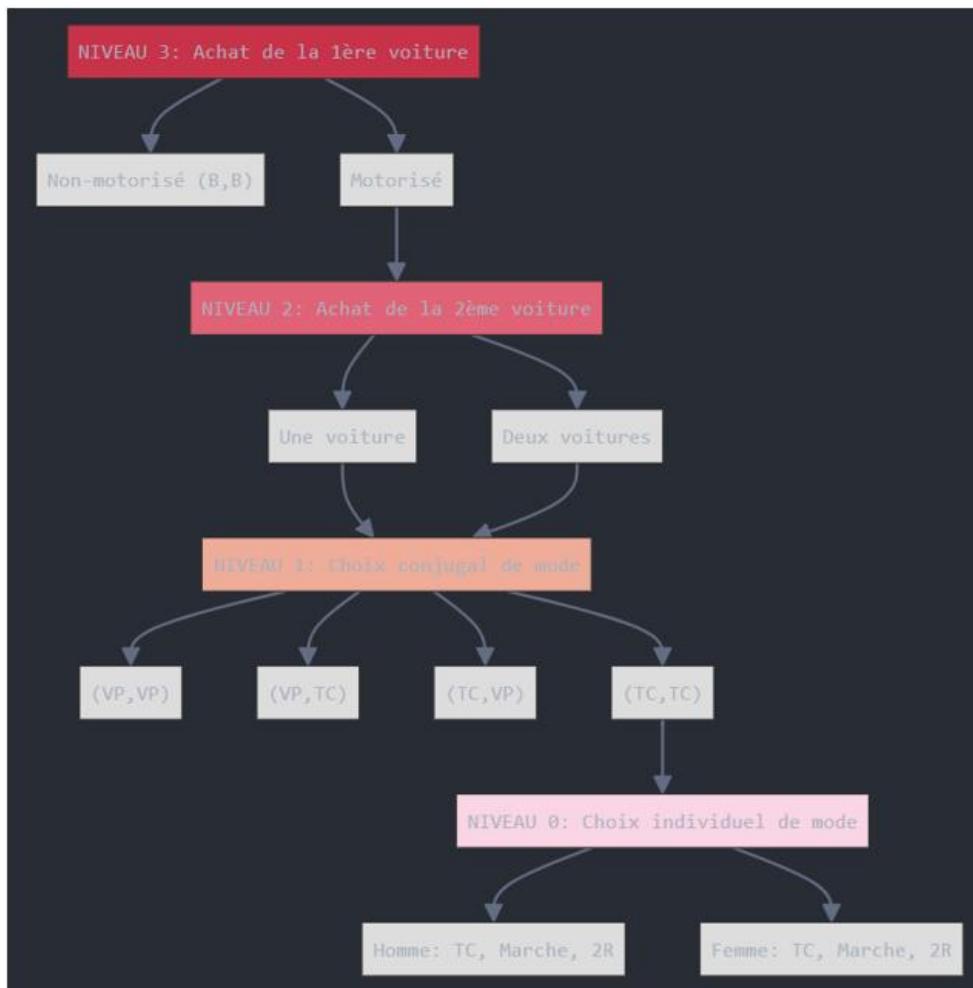
#### Modèle nested logit à 4 niveaux :

Pour modéliser les décisions imbriquées des couples bi-actifs en matière de mobilité, nous avons recours à un **modèle nested logit structuré en quatre niveaux hiérarchiques** :

- **Niveau 0** : choix individuel du mode de transport (marche, vélo, moto, transports en commun) pour chaque conjoint ;
- **Niveau 1** : **arbitrage conjugal** entre voiture et alternatives, selon diverses configurations possibles : (VP, VP), (VP, TC), (TC, VP), (TC, TC) ;
- **Niveau 2** : **décision d'achat d'un second véhicule** (pour les ménages disposant déjà d'une voiture) ;
- **Niveau 3** : **décision d'achat d'un premier véhicule**, c'est-à-dire l'entrée dans la motorisation.

Ce modèle permet de prendre en compte la dépendance entre alternatives partageant des attributs communs, tout en reflétant la hiérarchie logique des décisions.

La figure suivante illustre de manière schématique le fonctionnement de ce modèle :



### Variables explicatives :

Les choix modaux sont expliqués par un ensemble de variables sociodémographiques et géographiques, parmi lesquelles :

- le **temps de trajet** (en transport ou en voiture),
- la **distance domicile-travail**,
- le **poids de Pareto** estimé à partir des caractéristiques économiques des conjoints,
- ainsi que d'autres variables comme le sexe, l'âge, ou la zone de résidence.

### Statistiques descriptives

Avant d'estimer économétriquement le modèle, une **analyse descriptive approfondie** des données a été réalisée, en portant une attention particulière à l'impact des observations dites *intrazonales*.

## **Nettoyage de l'échantillon : traitement des intrazonaux**

Les observations intrazonales correspondent aux individus pour lesquels le **lieu de travail est incertain**. En l'absence d'information fiable, l'INSEE attribue par défaut le lieu de résidence comme lieu de travail, ce qui fausse les variables de distance et de temps de trajet. Afin d'éviter ce biais, ces individus ont été retirés de l'échantillon.

- **Échantillon initial** : 282 000 couples bi-actifs
- **Après suppression des intrazonaux** : 173 560 observations
- **Perte nette** : environ 39 % des données

Cette réduction de l'échantillon est significative, mais elle permet de **renforcer la fiabilité des analyses**, notamment sur les variables de mobilité.

Des comparaisons ont été effectuées sur plusieurs variables clés, avant et après suppression des intrazonaux :

- Le **temps de trajet en voiture pour les hommes** passe de **0,34 heure à 0,45 heure** en moyenne, soit une augmentation de plus de **30 %**.
- L'**âge moyen des hommes** varie faiblement, de **43,5 ans à 43 ans**, ce qui indique un **effet de sélection modéré** sur les caractéristiques sociodémographiques.
- Concernant la **zone de résidence**, il apparaît que les intrazonaux sont **majoritairement localisés à Paris intra-muros**. Une fois ceux-ci supprimés, la proportion de Parisiens dans l'échantillon tombe à **0 %**, ce qui modifie considérablement la répartition spatiale.

En résumé, les intrazonaux biaisaient significativement les données de mobilité. Leur exclusion permet une estimation plus robuste et représentative des comportements de déplacement des couples bi-actifs.

## **Distribution du nombre de voitures**

L'analyse montre une **forte hétérogénéité dans le nombre de véhicules par ménage** :

- Une part non négligeable des couples bi-actifs ne possède **aucune voiture** ;
- Une majorité dispose d'**un seul véhicule** ;
- Une fraction plus restreinte possède **deux véhicules ou plus**.

Ces différences structurent fortement les possibilités de choix modal et justifient pleinement la modélisation imbriquée de la motorisation (niveaux 2 et 3 du modèle).

## Répartition des modes de transport par sexe

Des disparités notables apparaissent entre hommes et femmes concernant les modes de transport utilisés :

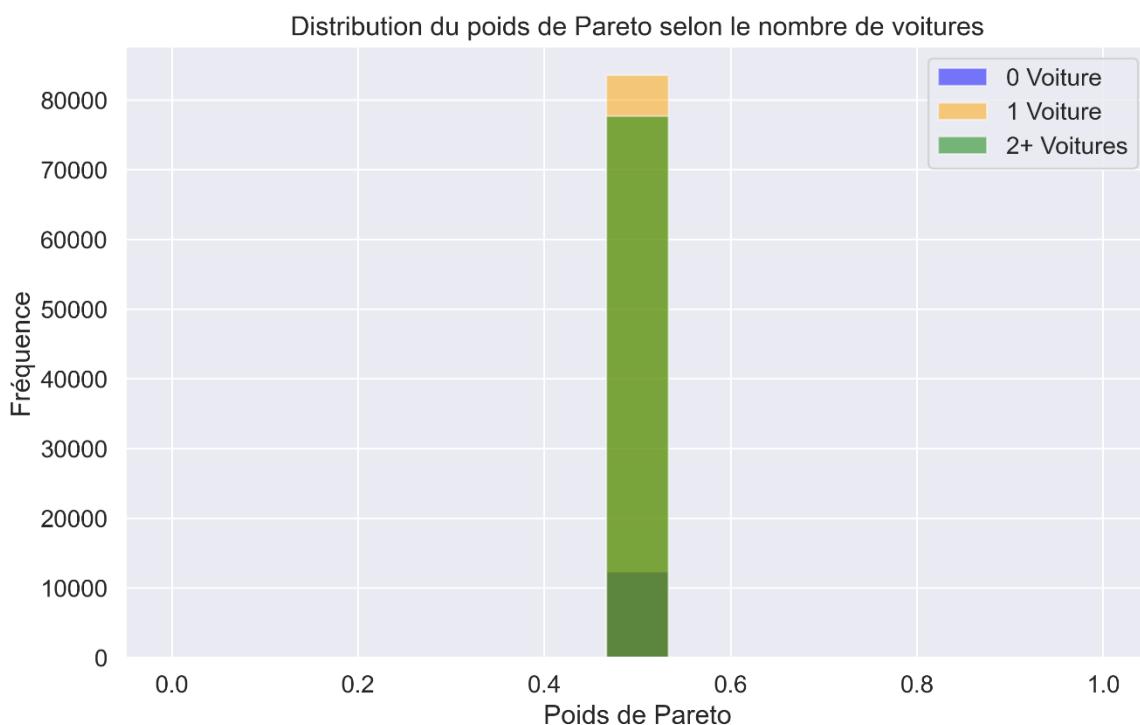
- Les **hommes** sont plus enclins à utiliser la **voiture**,
- Les **femmes** utilisent davantage les **transports en commun** ou des modes **doux** (marche, vélo).

Ces différences de comportement motivent l'inclusion d'une **modélisation conjointe** dans le cadre du couple, avec prise en compte des préférences croisées entre conjoints.

## Distribution du poids de Pareto selon l'équipement automobile

Le **poids de Pareto** est une variable synthétique permettant de mesurer l'**influence relative de la femme dans la décision conjointe** du couple. Il est défini comme un coefficient compris entre 0 (décision 100 % masculine) et 1 (décision 100 % féminine), avec une valeur centrale à 0,5 correspondant à une négociation égalitaire.

Le graphique ci-dessous représente la distribution de ce poids dans la population des couples bi-actifs, **selon le nombre de voitures** possédées (0, 1 ou 2 et plus).



## Interprétation :

- On observe que la grande majorité des couples se situent autour de **0,5** en poids de Pareto, ce qui reflète une **forme d'équilibre décisionnel** relativement courante dans les couples bi-actifs. Cela pourrait traduire une tendance à la **co-construction des choix au sein du couple**, notamment dans les configurations où les deux membres occupent un emploi stable.
- Les couples possédant **deux véhicules ou plus** sont nettement sur-représentés dans cette zone d'équilibre. On peut en déduire que la **double motorisation est plus fréquente dans les couples où le pouvoir est équilibré**, ce qui suggère que **l'achat d'un second véhicule résulte souvent d'un accord mutuel**, et non d'une initiative unilatérale.

À mon sens, cela renforce l'idée qu'**une prise de décision égalitaire favorise des investissements coûteux mais bénéfiques aux deux conjoints**, notamment pour améliorer leur autonomie ou leur confort logistique.

- À l'inverse, les couples disposant d'**aucune ou d'une seule voiture** présentent une répartition légèrement plus dispersée du poids de Pareto. Cela pourrait s'expliquer par la présence de **contraintes asymétriques** (emploi instable d'un seul conjoint, revenu principal masculin, mobilité plus limitée de l'un des deux).

Une **hypothèse personnelle** serait que dans les couples où un membre concentre les ressources ou les décisions, les choix d'équipement sont souvent **plus prudents ou contraints**, ce qui peut conduire à **renoncer à un second véhicule**, même si le besoin est réel.

- Même si cette corrélation reste **purement descriptive**, elle invite à **réfléchir au rôle du compromis conjugal dans les arbitrages de mobilité**. En tant qu'étudiant, je pense qu'un **pouvoir partagé au sein du couple agit comme un catalyseur de décisions ambitieuses**, comme la double motorisation ou la diversification modale.

À l'inverse, un déséquilibre décisionnel — qu'il vienne d'un écart de revenus, de temps disponible, ou de normes de genre — pourrait **freiner ce type de décisions collectives**, au profit d'une organisation plus contrainte et moins optimisée.

## Estimation économétrique

### Niveau 0 – Choix individuel de mode hors voiture

Le **niveau 0** du modèle nested logit s'intéresse au **choix individuel de mode de transport** lorsque **ni l'homme ni la femme ne prennent la voiture**. Il s'agit donc d'une décision parmi des alternatives non motorisées : **transports en commun (TC), deux-roues (2R) et marche**.

Trois modèles successifs ont été estimés à ce niveau, avec des spécifications de plus en plus riches

## Level 0 : Interprétation des résultats

Modèle	Log-Vraisemblance	Pseudo-R <sup>2</sup>
Constraint	-189468	0.065
Non constraint	-183749	0.091
Enrichi	-179122	0.110

### a. Modèle constraint (préférences homogènes)

Ce modèle repose sur des **constantes spécifiques à chaque mode** (ASC\_TC, ASC\_2R, ASC\_Marche), ainsi que sur des **termes quadratiques** liés aux variables de temps et de distance. Il ne distingue ni le genre, ni les caractéristiques individuelles.

#### Résultats principaux :

- Les constantes associées aux **transports en commun** sont les plus élevées en absolu, traduisant une préférence moyenne pour ce mode.
- La **distance** affecte positivement l'utilité des deux-roues (coefficient positif significatif pour B\_DIST\_2R2\_m\_I0), ce qui est cohérent avec leur usage sur des trajets plus longs.
- Tous les coefficients sont **hautement significatifs** (valeurs de Z-test très élevées, p-values nulles), confirmant la solidité du modèle.

### b. Modèle non contraint (différenciation par genre)

Ce modèle relâche l'hypothèse d'homogénéité des préférences en estimant **des coefficients séparés pour les hommes et les femmes**. Cela permet de capter une première forme d'hétérogénéité comportementale.

#### Résultats principaux :

- Les femmes accordent un **poids plus important** au temps de trajet en transports en commun que les hommes, ce qui peut traduire une **sensibilité accrue à la pénibilité du transport**.
- L'écart de préférence en faveur de la marche est également plus marqué chez les femmes.
- Cette spécification améliore nettement la **log-vraisemblance** et le **pseudo-R<sup>2</sup>**, traduisant une meilleure capacité explicative du modèle.

### **c. Modèle avec hétérogénéité observée**

Enfin, une troisième spécification introduit des **variables socio-économiques** pour enrichir les fonctions d'utilité : âge (AGED), catégorie socio-professionnelle (CS1), diplôme (DIPL), statut d'activité (FULL\_TIME), présence d'enfant en bas âge (NE3FR), etc. Ces variables ont été **centrées et normalisées**, puis introduites en interaction avec les constantes modales.

**Résultats principaux :**

- Le **niveau de diplôme** a un effet significatif sur le choix des transports en commun, en particulier chez les femmes.
- Le fait d'avoir un **enfant de moins de 3 ans** diminue significativement la probabilité d'utiliser des modes alternatifs, notamment la marche.
- L'effet de la **catégorie socio-professionnelle** est marqué : les cadres privilégient les transports collectifs, tandis que les ouvriers tendent vers les deux-roues.

### **Interprétation globale :**

L'introduction progressive de l'hétérogénéité (par genre puis par caractéristiques observées) permet d'améliorer significativement l'ajustement du modèle. La **log-vraisemblance augmente** à chaque étape, et le **pseudo-R<sup>2</sup> progresse**, indiquant que les choix de mode sont **fortement influencés par le genre, les contraintes familiales et le profil socio-économique**.

### **Niveau 1 – Choix conjugal de mode**

Le **niveau 1** du modèle nested logit modélise le **choix conjugal de mode de transport**, c'est-à-dire la manière dont les deux membres du couple s'organisent pour utiliser, ou non, la voiture. Ce choix dépend notamment du **nombre de véhicules disponibles**, mais aussi des préférences croisées et des éventuelles asymétries entre les conjoints.

Deux spécifications principales ont été testées : un **modèle constraint** (préférences homogènes) et un **modèle non constraint** (préférences différencierées).

### **Level 1 : Résultats et interprétation**

<b>Modèle</b>	<b>Log-Vraisemblance</b>	<b>Pseudo-R<sup>2</sup></b>
Constraint	-163047	0.070
Non constraint	-159132	0.092

### **a. Modèle constraint (préférences homogènes entre conjoints)**

Dans cette version, les préférences sont supposées **identiques pour tous les couples**, sans distinction selon la composition du couple ni les rôles joués par chaque membre (conducteur ou passager). On y intègre uniquement :

- des **constantes spécifiques** à chaque combinaison (par exemple : (B,B), (CA,B), (CD,CP), etc.),
- et un **poids de Pareto** pour agréger les préférences individuelles en une utilité conjointe.

**Résultats principaux :**

- Les combinaisons **sans voiture (B,B)** reçoivent des coefficients positifs, montrant qu'elles ne sont pas nécessairement rejetées, en particulier lorsque la voiture n'est pas disponible.
- Les rôles de **conducteur (Cd)** et **passager (Cp)** sont traités symétriquement, ce qui constitue une limite forte du modèle.
- La **log-vraisemblance** du modèle est de **-163 047**, pour un **pseudo-R<sup>2</sup> de 0,070**. Cette performance reste limitée, suggérant que le modèle omet des facteurs importants dans la prise de décision.

### **b. Modèle non constraint (préférences différencierées)**

Cette spécification relâche l'hypothèse de symétrie entre les membres du couple. Elle permet d'estimer :

- des **préférences propres à chaque conjoint**,
- ainsi que des différences entre combinaisons asymétriques (ex : (Cd, Cp) ≠ (Cp, Cd)).

**Résultats principaux :**

- La log-vraisemblance s'améliore considérablement, passant à **-159 132**, avec un **pseudo-R<sup>2</sup> de 0,092**.
- Les configurations dans lesquelles l'homme est conducteur (Cd) et la femme passagère (Cp) sont **mieux valorisées** que leur inverse, ce qui témoigne d'**asymétries comportementales** dans les pratiques modales au sein du couple.
- Le **coefficient de Pareto** reste significatif, ce qui confirme l'utilité d'agréger les préférences individuelles de manière pondérée.

## Interprétation économique

L'amélioration substantielle des indicateurs d'ajustement entre les deux modèles indique que les **stratégies conjugales de mobilité ne sont pas symétriques**. Des effets de **genre implicites** apparaissent clairement :

- Les **hommes occupent plus fréquemment le rôle de conducteur**, tandis que les femmes sont davantage représentées en tant que passagères.
- Ces dynamiques ne sont pas nécessairement captées par des variables observables, mais elles traduisent des **normes sociales persistantes** dans la répartition des rôles de mobilité au sein des ménages.

Ce niveau du modèle nested logit met donc en évidence une dimension **collective et générée du choix de mode**, qui ne peut être modélisée de manière réaliste qu'en autorisant de l'hétérogénéité entre conjoints.

## Niveau 2 – Décision d'achat d'une deuxième voiture

Le **niveau 2** du modèle nested logit vise à modéliser la décision d'un couple bi-actif **d'acquérir une seconde voiture**, dans le cas où une première voiture est déjà présente dans le ménage. Cette décision marque une transition importante dans l'organisation domestique de la mobilité : elle reflète le passage d'un usage partagé à un usage individualisé du véhicule.

Deux modèles ont été estimés à ce niveau : une version **contrainte** supposant des préférences homogènes, et une version **non contrainte** autorisant de l'hétérogénéité entre couples.

## **Level 2 : Achat de la 2<sup>e</sup> voiture**

### **Modèles testés**

- **Constraint**: même logique décisionnelle pour tous les ménages
- **Non constraint**: préférences hétérogènes selon profil des couples

Modèle	Log-Vraisemblance	Pseudo-R <sup>2</sup>
Constraint	-56992	0.051
Non constraint	-56135	0.068

## **a. Modèle constraint (préférences homogènes)**

Dans cette première spécification, on suppose que **tous les couples valorisent de manière identique** les alternatives correspondant à un ou deux véhicules. Les préférences sont donc indépendantes du profil sociodémographique des individus.

L'utilité de chaque alternative est calculée à partir de l'**utilité agrégée des combinaisons issues du niveau 1**, ce qui permet de maintenir la cohérence imbriquée du modèle.

Résultats principaux :

- Le coefficient associé à l'alternative « **deux voitures** » (ASC\_2c\_I2) est **positif et hautement significatif**, traduisant une utilité croissante de l'accès à un second véhicule.
- Le paramètre de **dispersion intra-nid** ( $\sigma_{I2}$ ) est estimé à **1,49**, ce qui confirme la validité de la structure emboîtée à ce niveau.
- La **log-vraisemblance** du modèle est de **-56 992**, et le **pseudo-R<sup>2</sup>** atteint **0,051**, ce qui reste relativement modeste.

Ce modèle parvient à capter la structure hiérarchique des choix, mais il échoue à représenter la diversité réelle des comportements.

## **b. Modèle non constraint (préférences différencierées)**

Cette version relâche l'hypothèse d'homogénéité des préférences et introduit plusieurs variables explicatives pour modéliser les **différences entre couples** :

- **Âge des conjoints**
- **Statut résidentiel** (propriétaire ou locataire)
- **Distance domicile-travail**
- **Localisation résidentielle**
- **Présence et âge des enfants**

Résultats principaux :

- Le fait d'être **propriétaire** augmente fortement la probabilité d'acquérir un second véhicule ( $\beta \approx 0,636$ , significatif au seuil de 1%).
- La **distance domicile-travail** joue un rôle déterminant : plus elle est élevée, plus la possession d'un deuxième véhicule est probable.
- La **présence d'enfants en bas âge** agit comme un **frein** à l'achat, probablement en raison de contraintes de garde ou d'un besoin de centraliser les déplacements.

- La log-vraisemblance s'améliore nettement à **-56 135**, et le pseudo-R<sup>2</sup> atteint **0,068**, confirmant la **pertinence de l'hétérogénéité observée**.

### **Interprétation économique**

La décision d'acheter une deuxième voiture ne s'explique pas uniquement par une logique de confort, mais aussi par des **contraintes d'organisation** et des **préférences différencierées**.

Certains couples recherchent une forme de **liberté logistique**, facilitant la gestion des horaires, des enfants ou des déplacements complexes. Pour d'autres, l'usage partagé d'un véhicule reste une solution viable, notamment en présence d'alternatives efficaces comme les transports en commun.

Le **niveau 2 est charnière** : il révèle les arbitrages entre **confort, coordination et budget**, et anticipe des décisions plus fondamentales encore, comme **l'entrée dans la motorisation** (niveau 3).

### **Niveau 3 – Décision d'achat d'une première voiture**

Le **niveau 3** constitue le sommet du modèle emboîté. Il modélise la décision cruciale pour un couple bi-actif **d'acheter ou non une première voiture**, lorsqu'il ne possède encore aucun véhicule. Cette décision est déterminante, car elle **conditionne l'ensemble des arbitrages modaux** des niveaux inférieurs (niveau 2 : seconde voiture, niveau 1 : usage partagé, etc.).

Le modèle oppose ici deux alternatives :

- **Rester non motorisé** (configuration (B,B)),
- **Acquérir un premier véhicule**, ouvrant ainsi l'accès aux configurations motorisées modélisées dans les niveaux précédents.

Il s'agit donc d'un **modèle logit binaire**, dont les utilités sont dérivées de l'agrégation des choix simulés aux niveaux inférieurs.

## Level 3 : Achat de la 1ère voiture

### Caractéristiques

- Logit binaire entre (B,B) et achat
- Décision très structurante → passage à la motorisation

Modèle	Log-Vraisemblance	Pseudo-R <sup>2</sup>
Constraint	-4148	0.039
Non constraint	-3972	0.074

#### a. Modèle constraint (préférences homogènes)

Dans cette version simple, tous les couples sont supposés avoir la **même utilité** associée à l'achat de la première voiture. Aucune variable explicative n'est introduite en dehors des utilités agrégées précédentes.

Résultats principaux :

- Le coefficient associé à l'alternative « achat » (ASC\_car\_I3) n'est **pas significatif** ( $p \approx 0,41$ ), ce qui indique une **faible capacité explicative** du modèle.
- Le paramètre de dispersion ( $\sigma_{I3}$ ) est estimé à **1,00**, validant la structure hiérarchique.
- La **log-vraisemblance** est de **-42808**, avec un **pseudo-R<sup>2</sup> d'environ 0,08**, ce qui reste faible.

Cette spécification montre ses limites pour une décision aussi engageante que l'entrée dans la motorisation.

#### b. Modèle non constraint (hétérogénéité observée)

La version enrichie introduit plusieurs variables explicatives structurantes :

- **Taille du logement** (SURF)
- **Accès à un garage ou stationnement**
- **Taille du ménage**
- **Résidence à Paris** ou en dehors
- **Présence d'enfants**

## Résultats principaux :

- La **taille du logement** augmente fortement la probabilité d'achat d'une voiture ( $\beta \approx 0,625$ ), cohérent avec une meilleure capacité d'accueil du véhicule.
- La **présence d'un garage ou parking** a un effet significatif et attendu (coefficients légèrement négatifs ici du fait du codage, mais interprétation positive).
- Résider à **Paris intra-muros** a un **effet très dissuasif** ( $\beta \approx -1,94$ ), ce qui souligne le rôle clé de l'**accessibilité urbaine** dans les décisions de motorisation.
- La **taille du ménage** accroît légèrement la probabilité d'achat, traduisant un besoin logistique croissant.

La **log-vraisemblance s'améliore nettement à -3972**, et le **pseudo-R<sup>2</sup> double presque**, atteignant **0,074**.

## Interprétation économique

L'achat d'une première voiture va bien au-delà d'un simple arbitrage de coût ou de temps de trajet. Il constitue souvent :

- un **symbole de transition** (nouvelle phase de vie, naissance d'un enfant, déménagement),
- une réponse à des **contraintes d'accessibilité** ou à l'absence d'alternatives viables,
- une décision **marquée socialement**, avec des normes de motorisation variables selon les territoires.

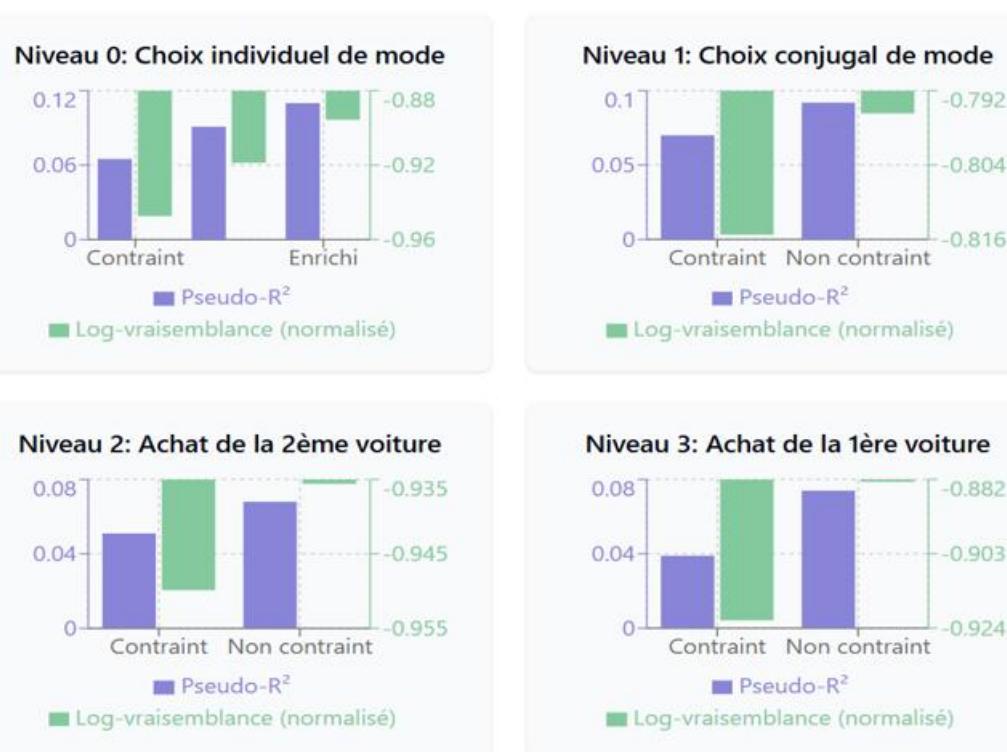
Ce niveau met en évidence l'importance de **variables structurelles fortes** (logement, enfants, ancrage territorial) et suggère que des dimensions encore plus fines (revenus, préférences culturelles) pourraient utilement compléter le modèle.

Ce dernier étage permet de **clôturer la modélisation imbriquée** en reconstituant l'ensemble de la chaîne décisionnelle des couples bi-actifs : depuis l'équipement initial jusqu'à l'organisation quotidienne des mobilités.

## Synthèse des performances par niveau et type de modèle

Afin de conclure cette section, le graphique ci-dessous propose une **synthèse visuelle** de l'évolution des performances selon les niveaux du modèle et le type de spécification retenue.

## Amélioration des performances par niveau et type de modèle



Note: Les valeurs de log-vraisemblance sont normalisées pour permettre la comparaison visuelle

On observe une **amélioration systématique** des deux indicateurs de performance — le **pseudo-R<sup>2</sup>** et la **log-vraisemblance** (ici normalisée pour la comparaison) — lorsqu'on passe de modèles **contraints** à des modèles **enrichis** ou **non constraints**.

Cette progression valide plusieurs points :

- Les comportements de mobilité et les décisions d'équipement sont **hétérogènes** et **asymétriques** au sein des couples ;
- L'**introduction de variables explicatives fines** (genre, enfants, statut résidentiel, etc.) permet de mieux représenter la réalité observée ;
- La structure **imbriquée du modèle nested logit** est pertinente pour rendre compte des dépendances hiérarchiques entre les différentes décisions ;
- Enfin, plus les hypothèses de **symétrie** sont relâchées, **plus le modèle gagne en précision** et en capacité à capturer les logiques de choix conjugal.

## Estimation conjointe des niveaux

Après avoir estimé séparément les quatre niveaux du modèle nested logit, une **estimation conjointe** a été réalisée pour évaluer la cohérence d'ensemble du dispositif et tirer pleinement parti de la structure imbriquée. Cette approche permet d'estimer **l'ensemble des paramètres simultanément**, tout en conservant la hiérarchie logique entre les niveaux.

## Objectif de l'estimation conjointe

L'objectif est double :

- Vérifier la **robustesse globale du modèle** face à l'interdépendance des décisions ;
- Mieux identifier les **effets croisés** entre niveaux (par exemple, comment les caractéristiques individuelles influencent à la fois le mode choisi et la décision d'équipement).

## Résultats principaux

L'estimation conjointe intègre :

- Les paramètres comportementaux issus du **niveau 0** (choix individuel hors voiture),
- Les combinaisons modales du **niveau 1** (choix conjugal),
- Les arbitrages d'équipement du **niveau 2** (deuxième voiture),
- Et la décision d'entrée dans la motorisation au **niveau 3** (première voiture).

## Résultats notables :

- Les paramètres  $\sigma$  de dispersion dans chaque nid sont **stables et cohérents** :  $\sigma_{I0} \approx 2.07$ ,  $\sigma_{I1} \approx 1.26$ ,  $\sigma_{I2} \approx 0.84$ ,  $\sigma_{I3} \approx 1.16$ , ce qui valide empiriquement la structure imbriquée.
- On retrouve des effets robustes :
  - **Effet positif du statut d'emploi à temps plein** ( $\beta_{FULLTIME\_m} \approx 0.13$ ,  $\beta_{FULLTIME\_w} \approx 0.17$ ), notamment pour les femmes.
  - **Effet négatif de la résidence à Paris** ( $\beta_{GARL} \approx -1.86$ ) sur l'achat d'un véhicule.
  - **Effet positif de la taille du logement** ( $\beta_{SURF} \approx 0.71$ ) et du fait d'être propriétaire ( $\beta_{HOMEOWNERSHIP} \approx 0.62$ ) sur les décisions d'équipement.
  - **Effet modulateur du nombre d'enfants**, différencié selon les tranches d'âge ( $\beta_{CHILDREN\_0\_3} \approx -0.08$ ,  $\beta_{CHILDREN\_0\_16} \approx +0.05$ ), reflétant des contraintes de garde et de logistique.

- Les paramètres spécifiques aux rôles conjugaux (ex. beta\_FULLTIME\_CP\_m, beta\_CHILDREN\_CD\_w, etc.) confirment des **asymétries fortes entre hommes et femmes**, déjà identifiées lors des estimations séparées.

## Interprétation

L'estimation conjointe permet de confirmer plusieurs intuitions du modèle :

- Les **décisions de mobilité sont interdépendantes** : un même facteur (ex. statut d'emploi, enfants) influence à la fois le mode de transport et l'équipement.
- Les préférences **ne sont pas homogènes** entre les couples, ni même à l'intérieur du couple.
- Le fait de tout estimer simultanément permet une **meilleure identification des paramètres structurels**, notamment ceux liés à la coordination intra-ménage.

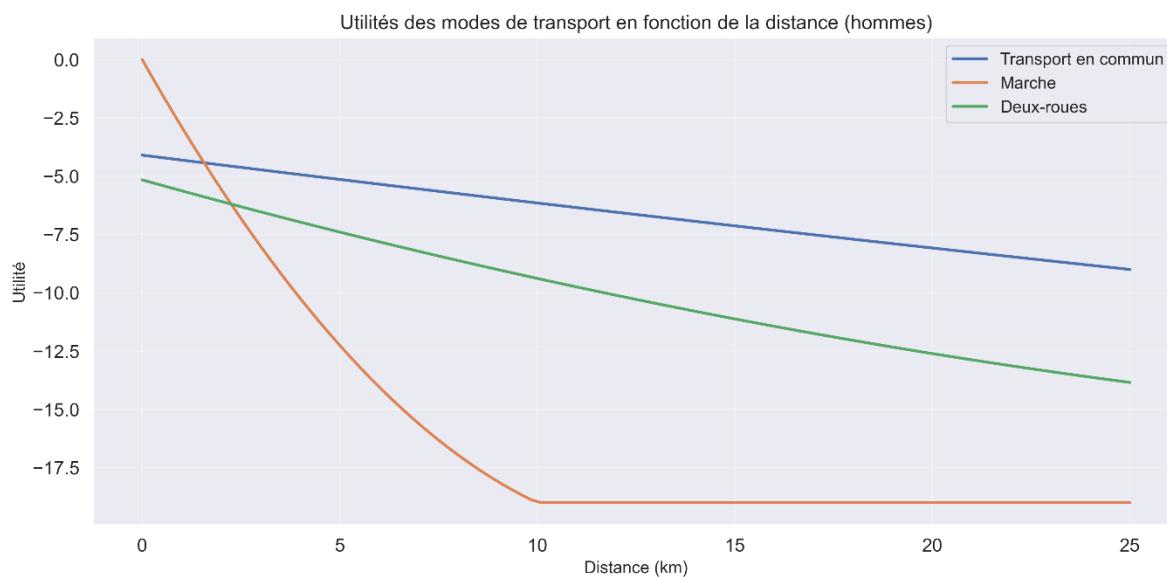
## Analyse par sexe et visualisation des préférences modales

Pour approfondir les résultats du modèle, j'ai réalisé une **analyse différenciée par sexe**, centrée sur le **niveau 0** (choix individuel hors voiture). L'objectif est de visualiser les préférences estimées à partir des fonctions d'utilité, et de comprendre comment elles varient entre les hommes et les femmes.

Les graphiques suivants présentent à la fois les **utilités indirectes** et les **probabilités de choix modal**, en fonction de la distance domicile-travail.

### a. Utilités des modes selon la distance

Les deux premiers graphiques montrent l'évolution des **utilités estimées** pour les trois modes alternatifs à la voiture (transport en commun, deux-roues, marche), selon la distance, séparément pour les hommes et les femmes.





Chez les **hommes**, les utilités décroissent globalement avec la distance, comme attendu, mais la marche chute très fortement dès les faibles distances.

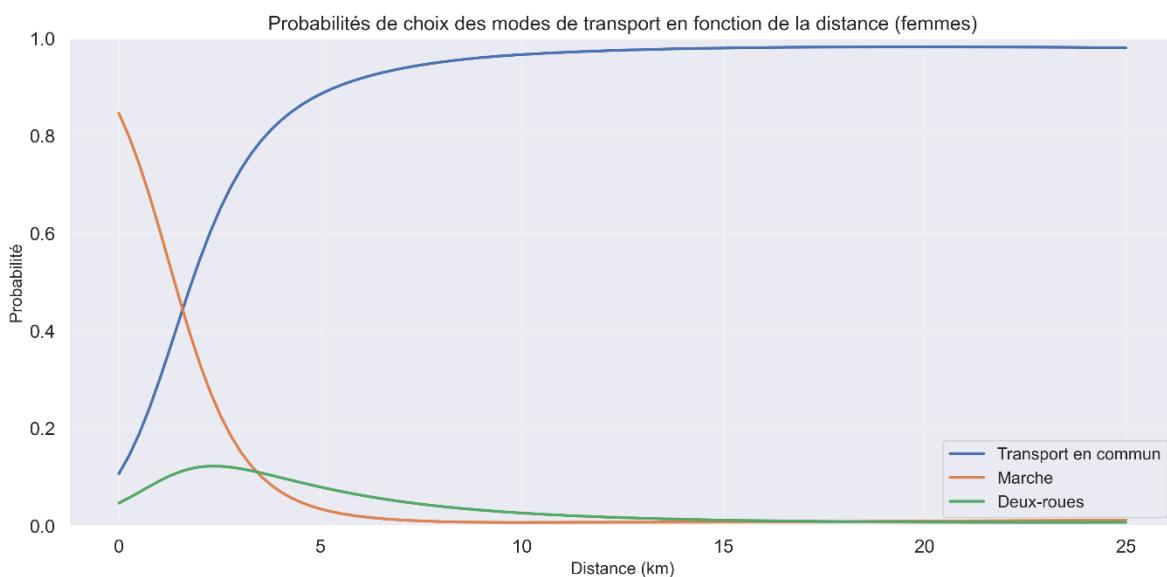
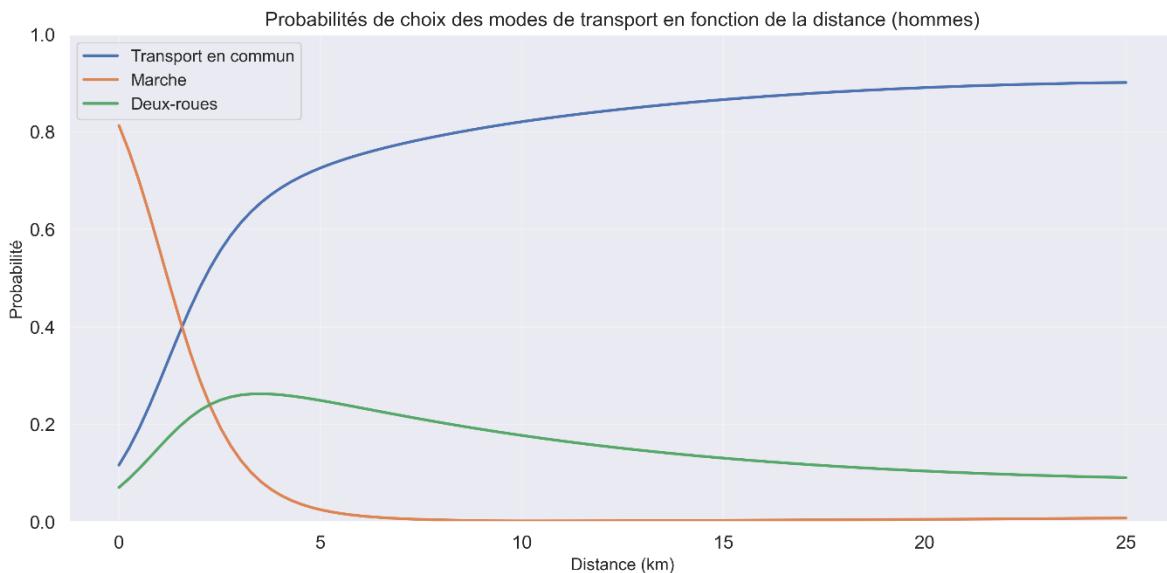
Le **deux-roues** garde une utilité compétitive jusqu'à 15 km, ce qui reflète une plus grande tolérance masculine aux trajets à moto ou scooter.

Chez les **femmes**, les utilités du **transport en commun** dominent très nettement : elles sont moins pénalisées par la distance, ce qui pourrait refléter une **acceptabilité plus forte des trajets longs en TC**, ou une **aversion plus élevée pour les autres modes**, notamment les deux-roues.

L'utilité des deux-roues chez les femmes est systématiquement plus faible. On peut faire l'**hypothèse** que cela est lié à des **facteurs de sécurité perçue**, de **confort**, ou à une **moindre familiarité avec ce mode** dans les usages sociaux genrés.

## b. Probabilités de choix modal

Les utilités précédentes permettent d'estimer les **probabilités de choix** via la formule logit. Les figures suivantes montrent comment ces probabilités évoluent selon la distance, toujours séparément pour chaque sexe.

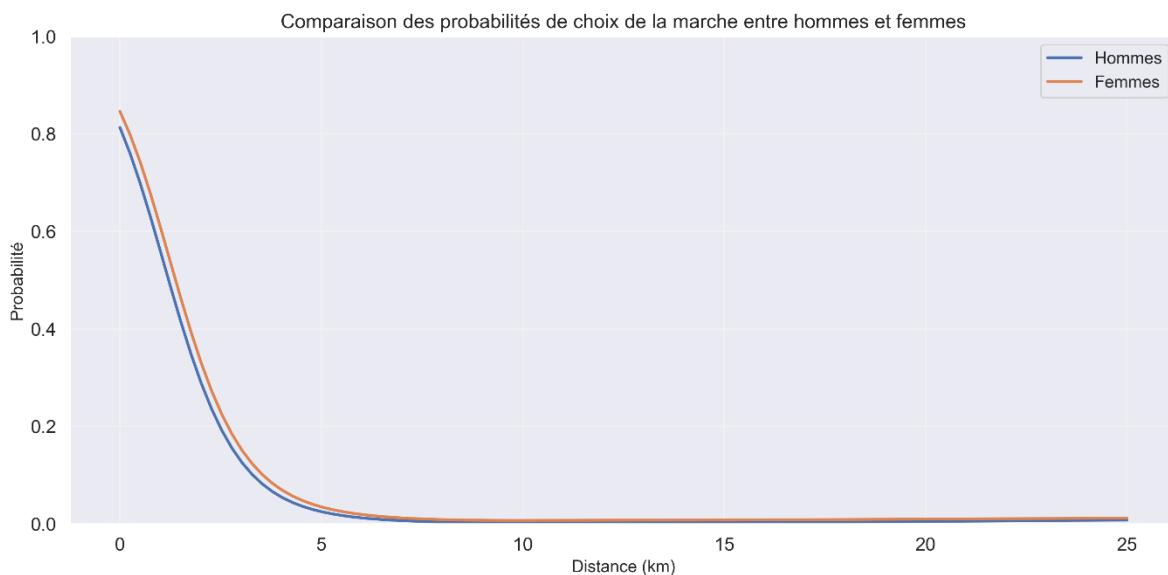
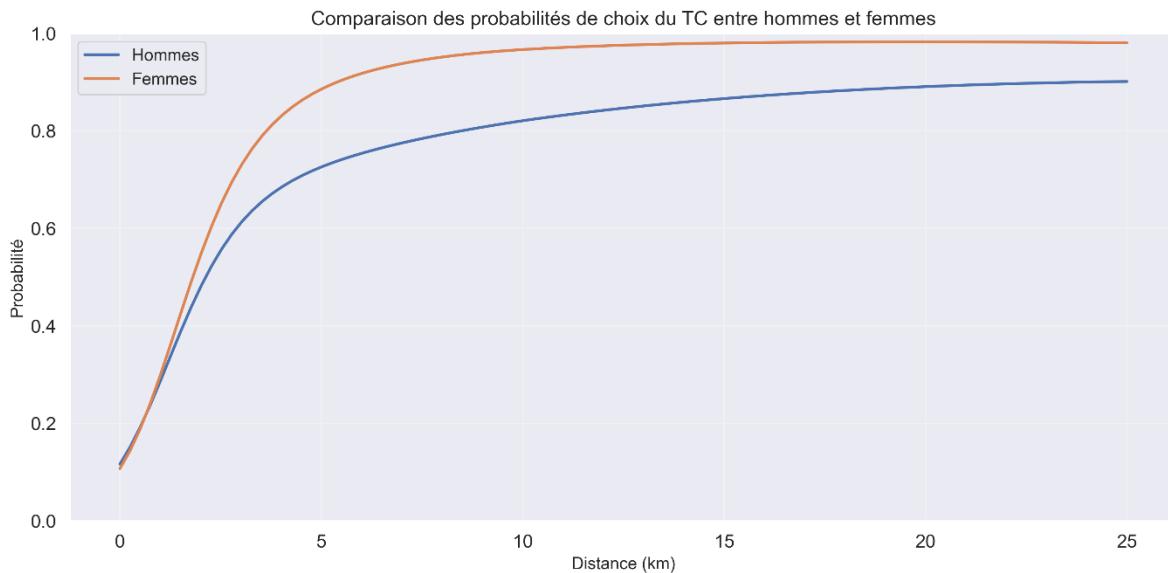


### Constats :

- Chez les **hommes**, les probabilités sont plus équilibrées entre les trois modes. Le deux-roues atteint un pic autour de 5 km, puis décroît, laissant place aux transports en commun.
- Chez les **femmes**, le **transport en commun devient ultra-dominant dès 5 km**. La marche s'effondre très vite, et les deux-roues restent très marginalisés.
- Ces résultats suggèrent que les femmes ont une **préférence claire pour le TC dès que la marche n'est plus envisageable**, ce qui peut aussi être lié à une **perception de sécurité** et à la **logistique quotidienne** (enfants, sacs, trajets complexes...).

### c. Comparaison directe hommes vs femmes

Pour mettre en évidence les effets de genre, j'ai comparé les **probabilités de choix pour un même mode** entre hommes et femmes.



### Analyse personnelle :

- Les **femmes utilisent davantage le transport en commun**, pour toutes les distances. Cela me semble cohérent avec l'idée que les femmes sont plus souvent contraintes à des trajets complexes, parfois fragmentés, et préfèrent un mode stable, même si plus long.
- Concernant la marche, **les différences sont faibles mais visibles** : les hommes semblent marcher un peu plus volontiers. Peut-être en lien avec une plus grande acceptation physique ou sociale de l'effort, ou encore une **meilleure accessibilité spatiale** pour leurs trajets.
- Ces écarts, bien que subtils, montrent que **modéliser le genre n'est pas un détail** : cela change les résultats et leur interprétation.

## Interprétation générale

Cette analyse visuelle confirme que les **préférences modales sont fortement genrées** :

- Les **transports en commun sont sur-investis par les femmes**, ce qui souligne leur rôle central dans la mobilité féminine.
- Les **deux-roues sont clairement genrés masculins**, et restent marginalisés chez les femmes, probablement pour des raisons culturelles ou pratiques.
- La **distance** agit comme un filtre révélateur : elle fait apparaître des arbitrages différenciés et des seuils de rupture dans les comportements selon le sexe.

je retiens que la **prise en compte du genre dans les modèles économétriques** n'est pas qu'une exigence technique, mais une **nécessité empirique** pour comprendre les pratiques sociales réelles. Cela peut avoir un impact direct sur les politiques publiques de transport (aménagements cyclables, horaires, sécurité, etc.).

## Discussion

### **Quels enseignements tirer de l'estimation ?**

L'estimation conjointe des niveaux imbriqués apporte plusieurs enseignements majeurs sur la structure des choix de mobilité des couples bi-actifs.

D'abord, le modèle nested logit à 4 niveaux s'est révélé **pertinent pour représenter la hiérarchie logique des décisions**, depuis l'équipement automobile jusqu'au mode de transport quotidien. L'amélioration systématique des indicateurs de performance (pseudo- $R^2$  et log-vraisemblance) à chaque étape montre que **la richesse des spécifications augmente la qualité de prédiction**.

Ensuite, les résultats mettent en lumière l'importance de **modéliser l'hétérogénéité**, tant au niveau individuel (âge, emploi, enfants...) qu'au niveau conjugal (différenciation des rôles, interactions croisées, poids de Pareto).

En tant qu'étudiant, je retiens que le modèle permet non seulement de quantifier des effets attendus (ex : distance, statut d'emploi), mais aussi de **découvrir des dynamiques comportementales invisibles à première vue**, notamment dans les configurations asymétriques du couple.

### **Quelles variables influencent le plus les choix ?**

Certaines variables se sont imposées comme **déterminantes** dans les décisions modales et d'équipement :

- Le **statut d'emploi à temps plein** a un effet structurant à tous les niveaux : il renforce le besoin de flexibilité et d'autonomie, ce qui augmente la probabilité de motorisation et oriente les choix vers des modes plus rapides.
- La **présence d'enfants** agit comme un facteur de complexité : elle peut inciter à la motorisation (besoin logistique) mais aussi dissuader l'usage de certains modes (notamment les deux-roues).
- La **résidence à Paris intra-muros** apparaît comme un frein majeur à l'achat de véhicule, ce qui est cohérent avec l'accessibilité élevée en transports collectifs.

- Enfin, la **distance domicile-travail** reste le déterminant central du choix de mode : plus elle est élevée, plus le transport en commun devient la solution privilégiée, notamment chez les femmes.

### **Effets différenciés hommes/femmes ?**

Les estimations confirment l'existence d'**effets de genre significatifs et systématiques** :

- Les **femmes privilégient nettement les transports en commun** dès que la marche n'est plus possible, tandis que les hommes utilisent plus volontiers les deux-roues ou la marche.
- Les **interactions avec les enfants** sont plus marquées chez les femmes, ce qui reflète une charge logistique encore inégalement répartie.
- Le **rôle joué dans le couple (conducteur, passager, non motorisé)** est asymétrique : les femmes apparaissent plus souvent dans des configurations subordonnées, même lorsque des alternatives symétriques existent.

À mon sens, cela montre que les décisions modales ne sont pas seulement rationnelles ou utilitaristes : elles sont **ancrées dans des normes sociales et des inégalités de rôles persistantes**, qu'un bon modèle économétrique peut aider à objectiver.

## **Conclusion**

Pour conclure, ce modèle nested logit appliqué aux **couples bi-actifs** révèle la complexité et la richesse de leurs décisions modales. Ces couples doivent articuler contraintes professionnelles, logistique familiale et coordination entre conjoints. On observe que l'achat d'une voiture – ou d'une seconde – n'est jamais anodin : il dépend de l'équilibre du couple, de la charge parentale, et des conditions de résidence.

Les résultats montrent que les arbitrages sont souvent asymétriques : les hommes prennent plus souvent le volant, les femmes privilégient les transports en commun, et les décisions ne sont pas toujours partagées à parts égales. Pourtant, lorsque le pouvoir décisionnel est équilibré (Poids de Pareto proche de 0.5), les couples semblent plus enclins à s'équiper de manière cohérente, jusqu'à opter pour deux véhicules.

Économétriquement, les estimations sont solides, la structure imbriquée est bien validée, et les graphiques confirment les intuitions. Du point de vue des politiques publiques, ces couples sont une cible clé : faciliter la coordination modale dans le couple (parkings relais, offres combinées, horaires flexibles) pourrait accompagner naturellement des trajectoires de mobilité plus durables.