

# Le platooning pour camions : un modèle macroéconomique inter-temporel micro-fondé avec condition de rentabilité et effet club

El-Mehdi Aboulkacem, François Combes, Univ Gustave Eiffel, IFSTTAR

Séminaire SPLOTT - 10 mai 2021



# Truck platooning : aperçu de la technologie et de ses promesses

- ▶ Le platooning : Technologie permettant aux camions de voyager dans des convois appelés **Platoons**
  - ▶ Les camions d'un même platoon communiquent entre eux grâce à un système V2V et avec les infrastructures grâce à un système V2I
  - ▶ Le leader est entièrement contrôlé par un chauffeur
  - ▶ Les followers réagissent automatiquement aux actions du leader sans l'intervention des chauffeurs
- ▶ Systèmes V2V permettent de diminuer drastiquement le temps de réaction des followers

↓  
Les camions d'un même convoi peuvent voyager en étant très rapprochés  
Essais sur piste : distance inter-camions à 4m à 105 km/h

↙ ↘  
Sécurité routière : ↑  
Capacité des routes : ↑

↓  
Résistance air subie par les camions : ↓  
=> Consommation de carburant : ↓  
=> Emissions polluantes : ↓



# Truck platooning : un intérêt très faible des économistes du transport

Aucun papier académique relevant des sciences économiques ne traite du platooning même si :

I - La littérature en sciences de l'ingénieur :

- ▶ Suggère très fortement que les camions platoonnables seront très prochainement sur les routes
- ▶ Ne discute jamais des objectifs que le platooning doit remplir en terme de coûts et de performance énergétique pour s'assurer le succès commercial

II - C'est une technologie qui, en soi, doit susciter un fort intérêt des économistes des transports car :

- ▶ Nécessite des investissements publics massifs dans les infrastructures de transport et les télécoms à une échelle nationale voire supranationale
- ▶ Les impacts environnementaux ne peuvent se ressentir que si la diffusion est très large
- ▶ Facteurs microéconomiques, réalités comptables et contraintes opérationnelles pouvant *entraver la diffusion*

# Question centrale : la diffusion du platooning

## Méthodologie :

- ▶ Construire un modèle macro-économique micro fondé inter-temporel
- ▶ Utiliser ce modèle pour simuler l'évolution du taux d'adoption du platooning dans plusieurs contextes
- ▶ Modèle construit sur la base des comportements et des arbitrages effectués par les entreprises de transport
  - ▶ Pour les transporteurs : véhicule = input durable à combiner avec d'autres inputs pour produire l'output « opérations de transport »
  - ▶ Avant platooning : acquisition nouveau véhicule ou remplacement d'un véhicule en fin de => véhicule neuf conventionnel
  - ▶ Après platooning : acquisition nouveau véhicule ou remplacement d'un véhicule en fin de => arbitrage entre véhicule conventionnel et véhicule platoonable ?
    - ▶ Impact sur le coût de l'input véhicule & les coûts des autres inputs (carburant - chauffeur - péage - etc...)
    - ▶ Impact sur le coût de production d'une même opération de transport
- ▶ Diffusion du platooning à l'échelle macro = agrégation de décisions individuelles prises à l'échelle de l'entreprise de transport

# Limite majeure du platooning : l'effet club

- ▶ Un camion platoonable n'apporte de la valeur que s'il voyage au sein d'un convoi  
S'il voyage seul il ne génère aucune économie de carburant  
=> Aucun avantage par rapport à un camion conventionnel
- ▶ Les opportunités de voyager au sein d'un convoi sont d'autant plus nombreuses que la technologie est bien diffusée
- ▶ Cercle vicieux :
  - ▶ Pour que le platooning génère de la valeur il faut qu'il soit largement répandu
  - ▶ Pour que les transporteurs achètent des camions platoonables il faut que ceux-ci génère de la valeur
- ▶ L'effet club n'est jamais discuté dans la littérature
- ▶ Notre modèle en tient compte

The background features a series of overlapping, semi-transparent blue triangles and polygons of various shades, creating a dynamic, geometric pattern on the right side of the slide.

Les économies d'énergie espérées grâce au platooning

# Quelques résultats obtenus en pistes d'essais

Economies de carburant en pourcentage

|                                        |          | Distance entre camions |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
|----------------------------------------|----------|------------------------|----|------|------|-----|------|------|------|-----|-----|-----|-----|-----|--|
|                                        |          | 4m                     | 5m | 6m   | 9m   | 10m | 12m  | 15m  | 17m  | 20m | 35m | 44m | 58m | 87m |  |
|                                        |          | Position du camion     |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
| Mcauliffe et al.                       |          |                        |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
| Vtesse 105 km/h<br>Poids : 29 T        | leader   |                        |    | 6,2  |      |     | 3,4  |      | 0,9  |     |     |     | 0   |     |  |
|                                        | follower |                        |    | 8    |      |     | 9,8  |      | 9,8  |     |     |     | 6,7 |     |  |
|                                        |          |                        |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
|                                        | leader   | 9,6                    |    | 7,6  | 5,4  |     | 3,3  |      | 1,2  |     | 1   | 0,4 | 0,8 | 0   |  |
|                                        | follower | 17                     |    | 14,9 | 13,7 |     | 12,6 |      | 10,6 |     | 7,9 | 7,1 | 6,8 | 5,7 |  |
|                                        | Trail    | 11                     |    | 11,5 | 10,5 |     | 9,5  |      | 8    |     | 6,3 | 5,7 | 5,3 | 4,5 |  |
| Energy ITS                             |          |                        |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
| Vitesse 80 km/h<br>Véhicules vides     | Leader   |                        | 9  |      |      | 4   | 3    |      | 1    |     | 0   |     |     |     |  |
|                                        | follower |                        | 16 |      |      | 17  | 17   |      | 16   |     | 15  |     |     |     |  |
|                                        | Trail    |                        | 23 |      |      | 19  | 16   |      | 15   |     | 13  |     |     |     |  |
| Companion                              |          |                        |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
| Vitesse : 70 km / h<br>Véhicules vides | Leader   |                        |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
|                                        | follower |                        |    |      |      | 12  | 12,6 | 10,6 |      | 8,3 |     |     |     |     |  |
|                                        | Trail    |                        |    |      |      | 6,7 | 0    | 6,1  |      | 6,8 |     |     |     |     |  |
|                                        |          |                        |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
| Vitesse : 80km/h<br>Véhicules vides    | Leader   |                        |    |      |      |     |      |      |      |     |     |     |     |     |  |
|                                        | follower |                        |    |      |      |     | 9,9  | 9,2  |      | 9   |     |     |     |     |  |
|                                        | Trail    |                        |    |      |      |     | 5    | 3,8  |      | 7,2 |     |     |     |     |  |

# La formation des platoons :

- ▶ Les économies de carburant montrées dans les tests concernent des camions qui roulent déjà au sein d'un platoon
- ▶ Bénéficier des économies d'énergie  $\leq$  faire en sorte que des camions « indépendants » se regroupent et voyagent en platoons respectant les contraintes de lieux et de temps des transporteurs
- ▶ Plusieurs façons de créer des platoons existent. Backermans (2016) et Bhoopalam (2018) en proposent des classifications
- ▶ Nous proposons ici une nouvelle classification basé sur : le besoin ou non d'un fournisseur de service

| Catégorie 1 : Fournisseur non nécessaire                                                                                                     | Catégorie 2 : Fournisseur nécessaire                                                                                                                                                          |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 1 - Les platoons sont directement formés dans les locaux du chargeurs si la quantité à transportée est supérieure à a capacité d'un véhicule | 4 - Les transporteurs envoient les informations relatives à leurs missions au fournisseur longtemps à l'avance. Celui-ci envoie à chaque camion l'itinéraire et le profil de vitesse à suivre |
| 2 - Le transporteur forme lui-même des platoons dans ses locaux ou dans des points de rencontre                                              | 5 - Les transporteurs envoient les informations relatives à leurs missions au fournisseur à la dernière minute.                                                                               |
| 3 - Les platoons se forment de façon spontanée sur la route sans planning préalables                                                         |                                                                                                                                                                                               |



# Le fournisseur de service : des difficultés techniques

- ▶ Analyse de la littérature en informatique : pour fournir un service en adéquation avec les attentes des transporteurs, une difficulté technique majeure doit être surmontée
- ▶ Attente des transporteurs : chaque opérateur souhaite que le fournisseur de service lui envoie les itinéraires et les profils de vitesse tels que chacune de ses missions de transport coûte le moins cher possible, tout en respectant les contraintes de temps et de lieu.
- ▶ => Le fournisseur de service doit résoudre un problème d'optimisation extrêmement complexe
- ▶ A partir de 2010 : les informaticiens travaillent sur des méthodes qui permettent de calculer les itinéraires et les profils de vitesse de chaque camion afin de minimiser la consommation de carburant totale d'une flotte donnée
- ▶ Larson 2015 : Problème NP-complet même pour les cas les plus simples tels que tous les camions partent tous du même endroit au même moment
- ▶ => recherche sur des algorithmes et des heuristiques permettant de trouver des solutions acceptables applicables à certains cas de figure  
Acceptable = pouvant être obtenues dans des temps de calcul raisonnables et permettant une économie d'énergie substantielle
- ▶ Derniers papiers en date : Lee et al (2021) - Noruzoliaee (2021)

# Le fournisseur de service : des difficultés techniques

Les papiers souffrent de 3 défauts majeurs :

1. Reposent sur des hypothèses fortes et très peu réalistes : pas de deadline - pas de trafic - pas d'économie pour le camion leader - taille des platoons non bornée - même économies pour tous les suiveurs ...
  2. Aucun des algorithmes présenté n'a été testé pour des situations proches de la réalité : nombre de camions de l'ordre du million & réseau routier comparable au réseau européen
  3. Les fonctions de consommation énergétique sur lesquelles les algorithmes s'appuient sont soit très floues soit très naïves :
    - ▶ Ne considère ni le poids des véhicules, ni leurs profils aérodynamiques, ni même les caractéristiques de la route
    - ▶ La météo n'est jamais prise en considération
- ▶ Construire une fonction de la consommation énergétique précise et facilement exploitable semble très invraisemblable
- ▶ => Construction d'un algorithme efficace semble très peu vraisemblable

# Le fournisseur de service et les transporteurs : des fonctions objectifs différentes

- ▶ Les transporteurs cherchent à minimiser le coût des opérations de transport et non le coût du carburant
- ▶ Postes de coût : énergie, chauffeur, infrastructures (péage), véhicule (achat et maintenance)
- ▶ Platooning planifié => déviation du chemin le plus court / Rapide
  - => Temps travail chauffeur ↑
  - => Péage autoroutier ↑
  - => usure véhicule ↑
- ▶ Le coût engendré par la formation du platoon peut excéder les économies générées par une consommation moindre de carburant
- ▶ Est-il possible de construire un algorithme qui minimise les coûts des opérations de transport ?

# Le fournisseur de service : une question économique centrale

- ▶ Le fournisseur de service : entité publique ou entreprise privée?
- ▶ Si entité publique :
  - ▶ Objectif : maximiser le bien-être social de la population
  - ▶ => diviser le coût de production du service sur l'ensemble des contribuables
  - ▶ => service accessible pour un grand nombre d'entreprise de transport
- ▶ Si entreprise privée :
  - ▶ Objectif : faire du profit
  - ▶ Retour sur investissement uniquement grâce au transporteur
  - ▶ => coût d'accès au service plus élevé pour les transporteurs
  - ▶ => faible accessibilité
  - ▶ Danger du monopole
- ▶ => L'avènement d'un fournisseur de service nous semble très peu vraisemblable à moyen terme

# Aperçu du modèle



# Le processus inter-temporel

Hypothèses :

Flotte de taille  $F=f/T$  constante - Les véhicules ont une durée de vie de  $T$  Périodes - Les transporteurs ne remplacent que les véhicules en fin de vie - Les véhicules sont remplacés en début de période et sont immédiatement utilisés

$t = 0$  : Apparition du platooning et adoption par une part d'acquéreurs précoces.

L'intérêt d'adopter le platooning augmente avec le taux d'adoption

| Peri ode | N. vehciles à remplacer | Nb. nouveaux véhicules platoonable | Nb. nouveaux véhicules conventionnels | Total de véhicules platoonbales            | Part véhicules platoonable                                                                                                                                                                                                                    |
|----------|-------------------------|------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 0        | $f$                     | $p_0 f$                            | $(1 - p_0) f$                         | $Plt_0 = p_0 f$                            | $\rho_0 = \frac{p_0}{T}$                                                                                                                                                                                                                      |
| 1        | $f$                     | $Pr(\rho_0) f$                     | $[1 - Pr(\rho_0)] f$                  | $Plt_1 = f[p_0 + Pr(\rho_0)]$              | $\rho_1 = \frac{1}{T}[p_0 + Pr(\rho_0)]$                                                                                                                                                                                                      |
| 2        | $f$                     | $Pr(\rho_1) f$                     | $[1 - Pr(\rho_1)] f$                  | $Plt_2 = f[p_0 + Pr(\rho_0) + Pr(\rho_1)]$ | $\rho_2 = \frac{1}{T}[p_0 + Pr(\rho_0) + +Pr(\rho_1)]$                                                                                                                                                                                        |
| .        | .                       | .                                  | .                                     | .                                          | .                                                                                                                                                                                                                                             |
| T        | $f$                     | $Pr(\rho_{T-1}) f$                 | $[1 - Pr(\rho_{T-1})] f$              | $Plt_T = f \sum_{i=1}^{T-1} Pr(r_i)$       | $\rho_t = \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T-1} Pr(r_i)$                                                                                                                                                                                               |
| T+1      | $(1 - p_0) f$           | $Pr(\rho_{T-1})(1 - p_0) f$        | $[1 - Pr(\rho_{T-1})](1 - p_0) f$     | —                                          | -                                                                                                                                                                                                                                             |
| .        |                         |                                    |                                       |                                            |                                                                                                                                                                                                                                               |
| 2T       |                         |                                    |                                       |                                            | $\rho_{2T} = \begin{cases} \square & \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{2T-1} Pr(\rho_i) \\ - & \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T-1} Pr(\rho_i) Pr(\rho_{i+T}) \end{cases}$                                                                                      |
| .        |                         |                                    |                                       |                                            |                                                                                                                                                                                                                                               |
| 3T       |                         |                                    |                                       |                                            | $\rho_{3T} = \begin{cases} \square & \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{3T-1} Pr(\rho_i) \\ - & \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{2T-1} Pr(\rho_i) Pr(\rho_{i+T}) \\ - & \frac{1}{T} \sum_{i=1}^{T-1} [1 - Pr(\rho_{T+i})] Pr(\rho_i) Pr(\rho_{i+2T}) \end{cases}$ |

# L'arbitrage entre camion platoonnable et camion conventionnel

► Considérons un transporteur  $i$  qui a besoin de remplacer un véhicule à la période  $t$

► Différence du coût à l'achat : le véhicule platoonnable est plus cher de  $K_p$   
=> Coût supplémentaire par période :  $k_p = \frac{1}{T} K_p$

► Différence de coût à l'utilisation :

► Le camion va opérer sur un territoire avec  $R$  routes différentes

► Le nombre moyen de trajets par période sur la route  $r$  est :  $N_{i,r}$

► La différence de coût entre parcourir  $r$  seul ou à la position  $p$  du platoon :  $c_r^0 - c_r^p$

► La probabilité d'effectuer le trajet  $r$  à la position  $p$  en  $t$  est :  $\pi_{t,r,p}$

► Les gains / pertes sur une période :  $G_{i,t} = \sum_r \sum_p N_{i,r} \pi_{t,r,p} (c_r^0 - c_r^p)$

► Les transporteurs sont hétérogènes :

$$N_{i,r} = N_{0,r} + \varepsilon_{i,r}$$

► Le transporteur adopte le platooning en  $t$  si à partir de cette période, si les gains à l'utilisation dépassent les coût à l'achat

$$Pr(Y_{i,t} = 1) = Pr\left[\sum_r \sum_p (N_{0,r} + \varepsilon_{i,r}) \pi_{t,r,p} (c_r^0 - c_r^p) \geq k_p\right]$$

Il faut formaliser :

$$I - (c_r^0 - c_r^p)$$

Dépend de :

1. La structure microéconomique des coûts des opérations de transport
2. Le cadre géographique
3. La performance énergétique du camion platoonnable
4. La façon avec laquelle les platoons se forment

Et

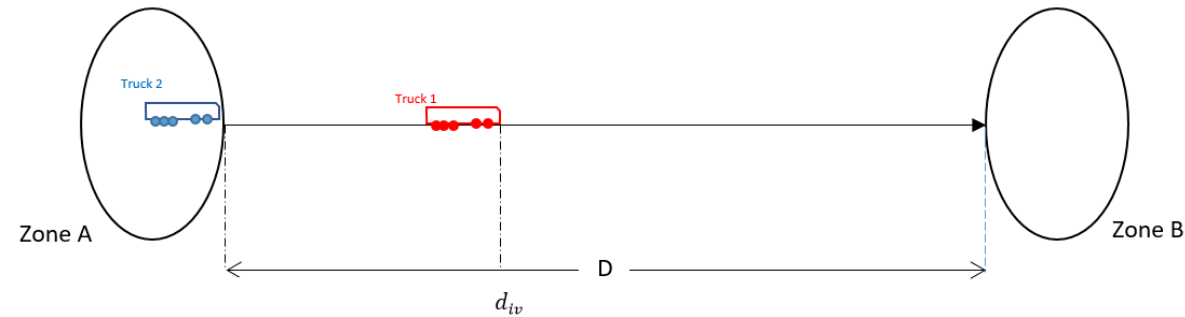
$$II - \pi_{t,r,p}$$

Dépend de :

1. La période : en particulier le taux d'adoption du platooning en cette période
2. L'intensité du trafic / flux de camions parcourant  $r$



# Cadre géographique & Formation des platoons



Coût d'une opération si voyage seul :

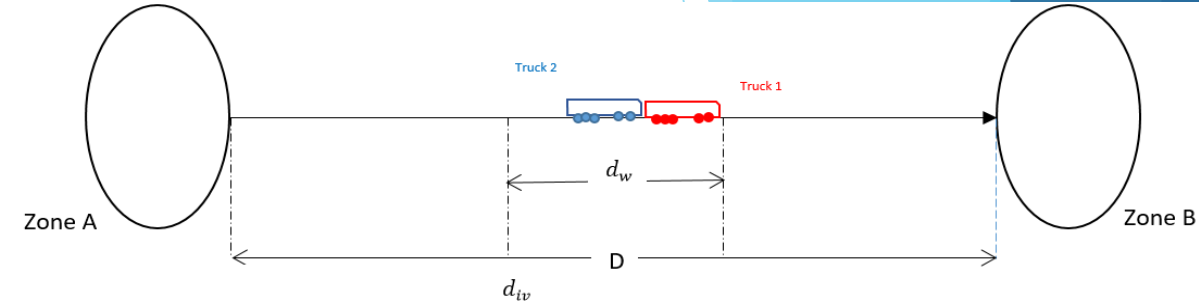
$$c_l^0 = c_f^0 = (c_d + p_g g^0) D + (c_h + \alpha) \frac{D}{v_m}$$

Coût par unité de distance

Coût par unité de distance

Coût platooning leader

$$c_l^p = (c_d + p_g g_l^p) d_{iv} + (c_h + \alpha) \frac{d_{iv}}{v_m} + (c_d + p_g g_l^p) d_w + (c_h + \alpha) \frac{d_w}{v_m} + (c_d + p_g g_l^p) (D - d_{iv} - d_w) + (c_h + \alpha) \frac{(D - d_{iv} - d_w)}{v_m}$$



Coût platooning follower

$$c_f^p = (c_d + p_g g_f^p) d_w + (c_h + \alpha) \frac{d_w}{v_m} + (c_d + p_g g_f^p) (D - d_w) + (c_h + \alpha) \frac{(D - d_w)}{v_m}$$

Ecart coût Follower :

$$c_f^p - c_f^0 = p_g (g_f^p - g^0) (D - d_w) \leq 0$$

Liste des variables:

$c_d$  : coût par unité de distance

$c_h$  : coût par unité de temps

$p_g$  : prix du carburant

$g^0$  : conso carburant hors platoon

$g_p^x$  : conso carburant position x platoon

$v_m$  : vitesse max

$v_w$  : vitesse d'attente

# Condition nécessaire à la formation du platoon

- ▶ Le platoon ne peut être formé que s'il est rentable pour le leader
- ▶ Ecart de coût pour le leader

$$c_l^p - c_l^0 = p_g(g_l^p - g^0)D + \left[ \frac{c_h + \alpha}{v_m} - p_g(g_l^p - g^0) \frac{v_m}{v_m - v_w} \right] d_{iv}$$

- ▶ Le seul paramètre sur lequel le chauffeur du camion potentiellement leader se base pour décider d'attendre le potentiel follower ou par est  $d_{iv}$
- ▶ La distance au-delà de laquelle le platoon ne se forme pas :

$$d_{iv,max} = \frac{p_g(g_l^p - g^0)D}{p_g(g_l^p - g^0) \frac{v_m}{v_m - v_w} + \frac{c_h + \alpha}{v_m}}$$

Cette distance :

- ▶ Augmente avec : l'efficacité énergétique - le prix du carburant - la distance totale le trajet et la vitesse de croisière
- ▶ Diminue avec : le coût horaire - la vitesse d'attente

# Part des trajets effectués au sein d'un platoon

- ▶  $d_{iv}$  est une variable aléatoire qui dépend du
  - ▶ Flux de camions :  $Q$
  - ▶ Taux d'équipement en platooning :  $\rho_t$
- ▶ Flux de véhicules roulant à  $v_m$  et arrivant aléatoirement indépendamment à l'entrée de l'autoroute  
=> Leur arrivée peut être modélisée par une loi de Poisson de paramètre  $\rho_t Q$   
=>  $d_{iv}$  suit une loi exponentielle de paramètre  $\frac{\rho_t Q}{v_m}$
- ▶ La probabilité qu'un véhicule ne faisant pas partie d'un platoon attende le suivant pour former un platoon est :  $1 - \exp\left(-\frac{Q\rho_t}{v_m} d_{iv,max}\right)$
- ▶ Chaine de Markov : la probabilité de faire le trajet en étant leader d'un platoon est égale à celle de le faire en étant follower

$$\Pi_l = \Pi_f = 1 - \frac{1}{2 - \exp\left(-\frac{Q\rho_t}{v_m} d_{iv,max}\right)}$$

- ▶ Augmente avec le flux de camion, le taux d'adoption et  $d_{iv,max}$

# Condition d'adoption du platooning

- ▶ Un transporteur  $i$  remplacera un véhicule conventionnel en fin de vie en  $t$  par un véhicule platoonnable si à partir de cette période, la différence de coût à l'utilisation est en faveur du camion platoonnable et est supérieure à son coût à l'achat
- ▶ Différence de coût à l'utilisation :

$$\Delta C_{i,t} = N_i \left( \partial c_p^l + \partial c_p^f \right)$$

Avec :

$\partial c_p^l$  la moyenne des différences de coûts entre voyager seul et voyager en leader de platoon

$\partial c_p^f$  la moyenne des différences de coûts entre voyager seul et voyager en leader de platoon

- ▶ La condition d'adoption du platooning par  $i$  se traduit comme suit :

$$\Delta C_{i,t} = N_i \left( \partial c_p^l + \partial c_p^f \right) > k_p$$

$$\Rightarrow N_i > \frac{k_p}{A - \frac{B}{\rho_t Q}}$$

Avec  $A = p_g \left( 2g^0 - g_l^p - g_f^p \right) D$  et  $B = \left[ \frac{c_h + \alpha}{v_m} (g^0 - g_l^p) + (g^0 - g_f^p) \right] \frac{v_m^2 p_g}{v_m - v_w}$

# Part de nouveaux véhicules platoonnables

- ▶ Les transporteurs sont hétérogènes : le nombre moyen de trajets par période diffère de l'un à l'autre  
=> du point de vue du modélisateur

$$N_i = N_0 + \epsilon_i$$

Avec  $N_0$  constante valable pour tous les transporteurs  
 $\epsilon_i$  aléatoire tirée d'une distribution logistique centrée

- ▶ La part des véhicules conventionnels en fin de vie en t remplacés par des véhicules platoonnables :

$$\begin{aligned} Pr(Y_{i,t} = 1) &= Pr\left(N_0 + \epsilon_i > \frac{k_p}{A - \frac{B}{\rho_t Q}}\right) \\ &= 1 + \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{N_0}{s}\right)} - \frac{1}{1 + \exp\left(\frac{N_0}{s}\right) \exp\left(-2 \frac{k_p}{s \left(A - \frac{B}{\rho_t Q}\right)}\right)} \end{aligned}$$

# Quelques simulations

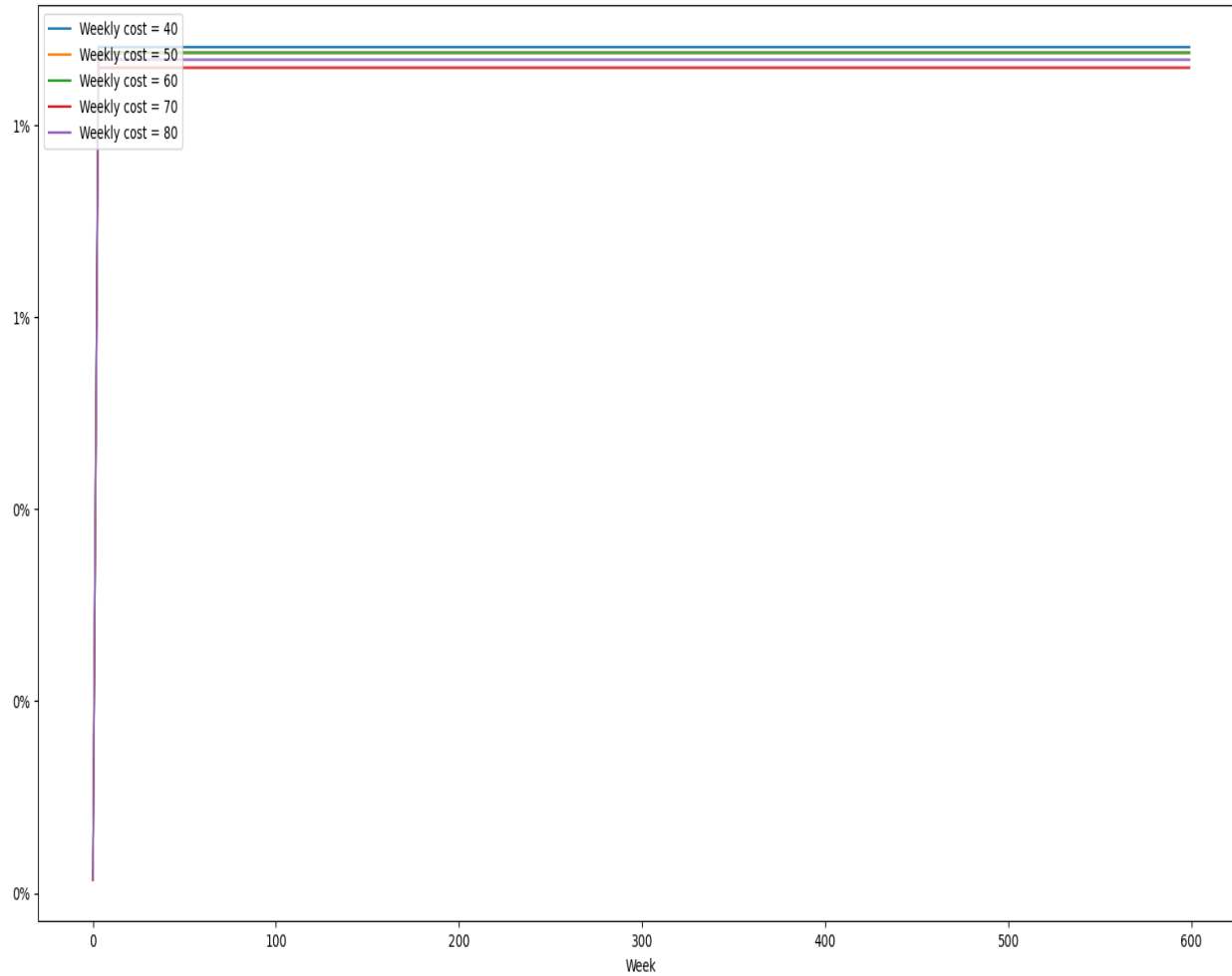
## Calibrage :

- Vitesse maximale : 80 km/h
- Vitesse d'attente : 40 km/h
- Prix du carburant : 1 €
- Consommation de carburant hors platoon : 35 L/100km
- Coût horaire : 35 €/h
- Taux d'early adopters : 5%

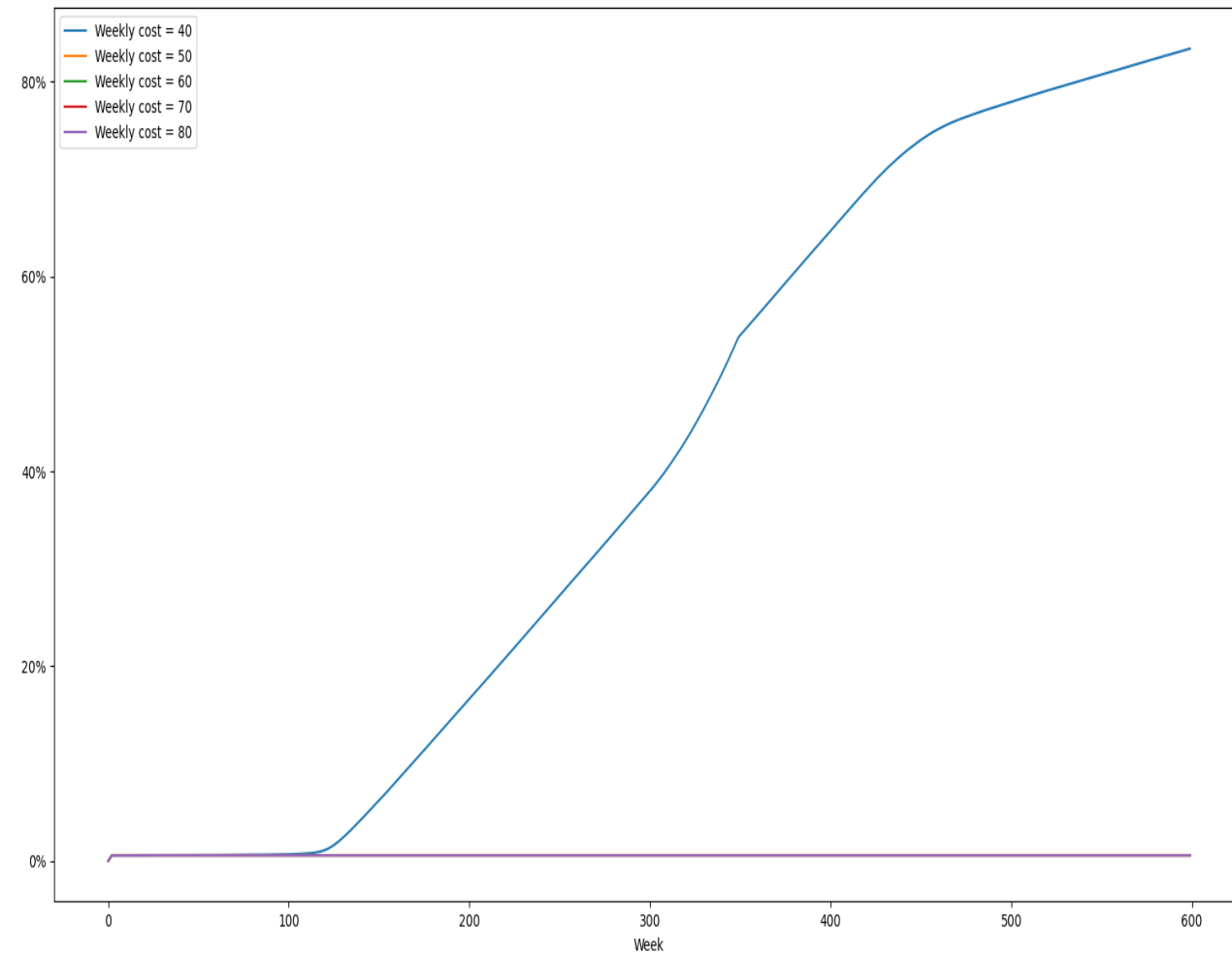
# Simulations pour D=300 km

Espacement entre les camions : 10 m

Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow :20000  
Leader's gas consumption decrease = 4%  
Follower's gas consumption decrease = 10%



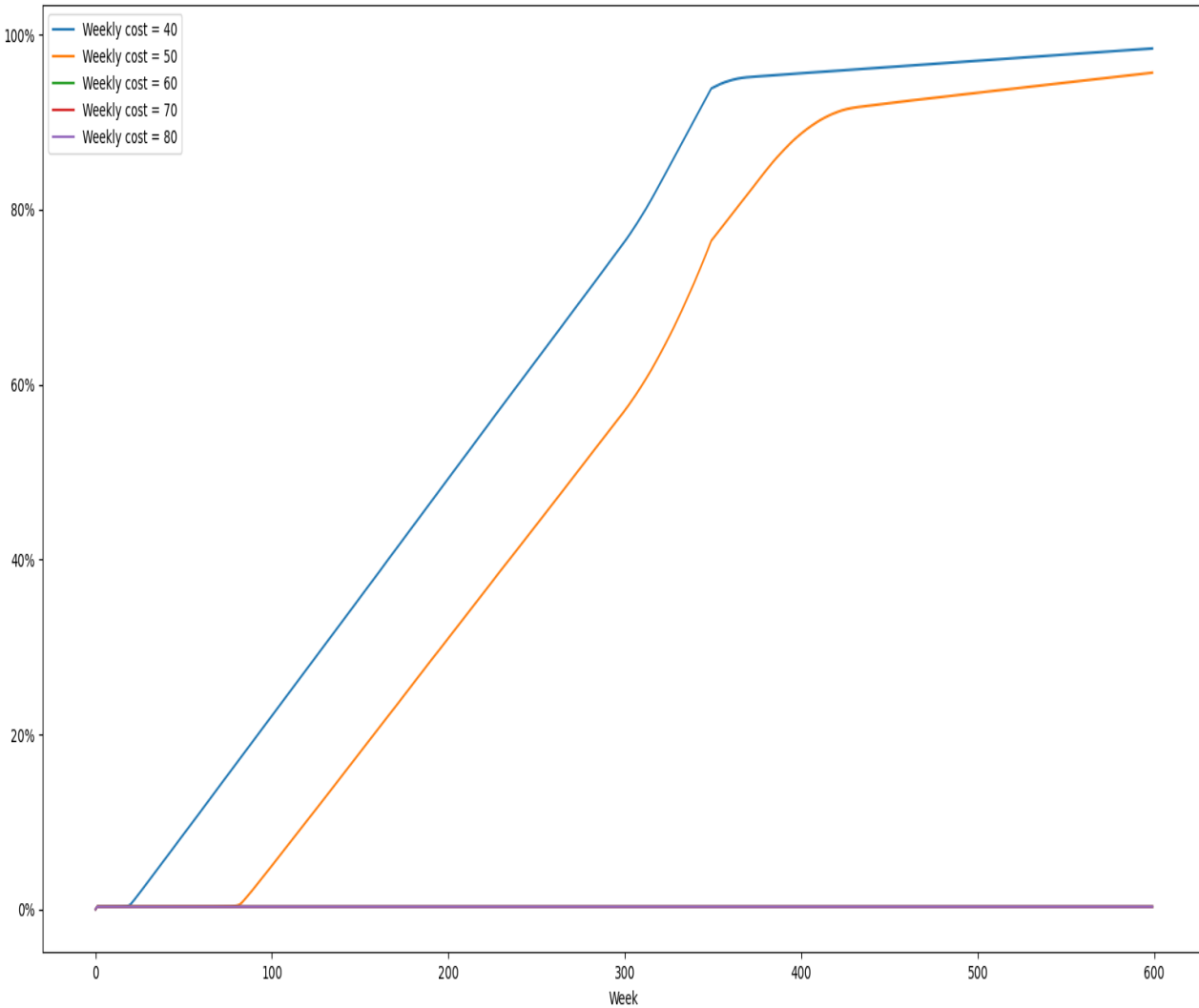
Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow :40000  
Leader's gas consumption decrease = 4%  
Follower's gas consumption decrease = 10%



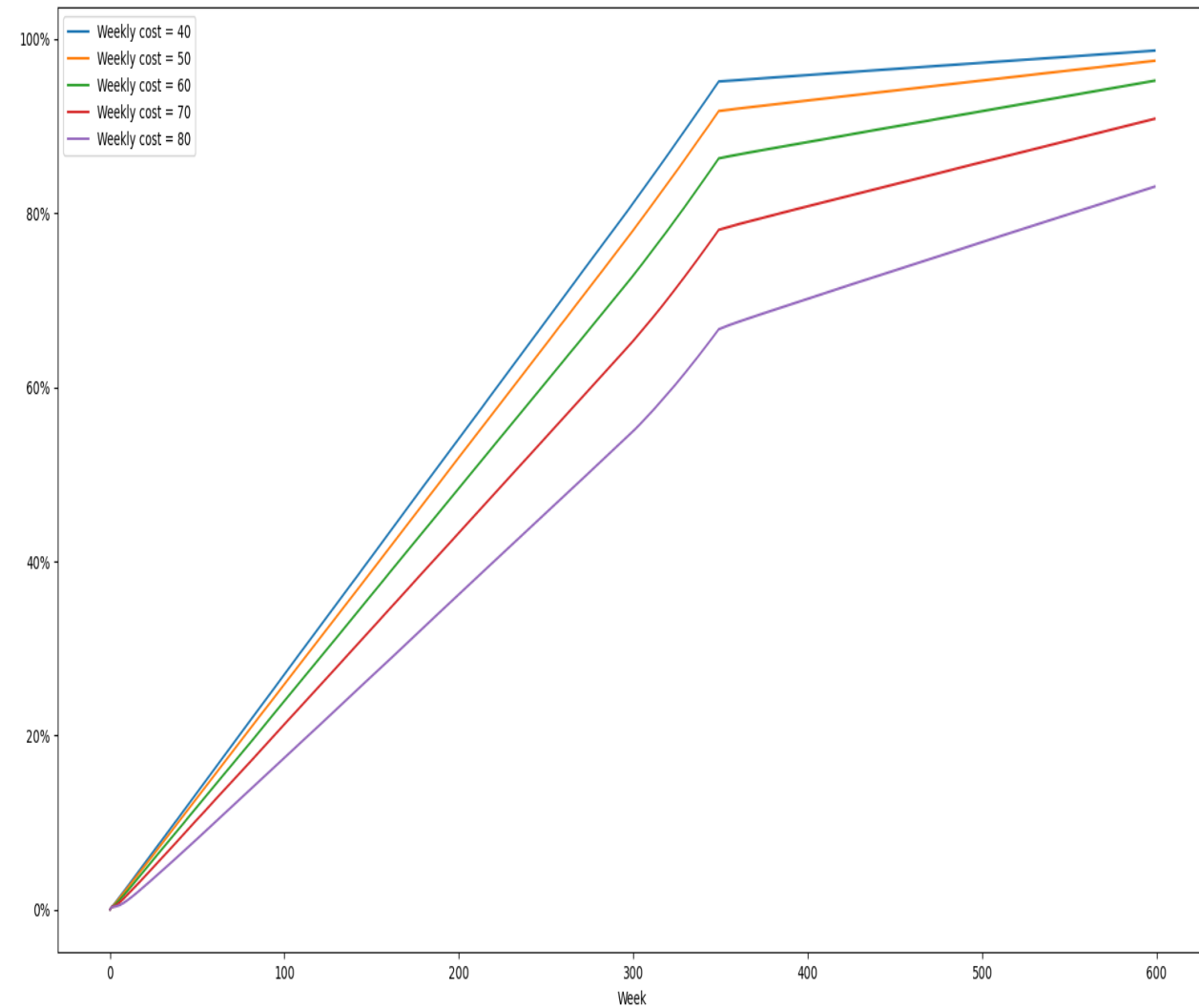
# Simulations pour D=300 km

## Espacement entre les camions : 5 m

Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow : 20000  
Leader's gas consumption decrease = 9%  
Follower's gas consumption decrease = 16%



Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow : 40000  
Leader's gas consumption decrease = 9%  
Follower's gas consumption decrease = 16%

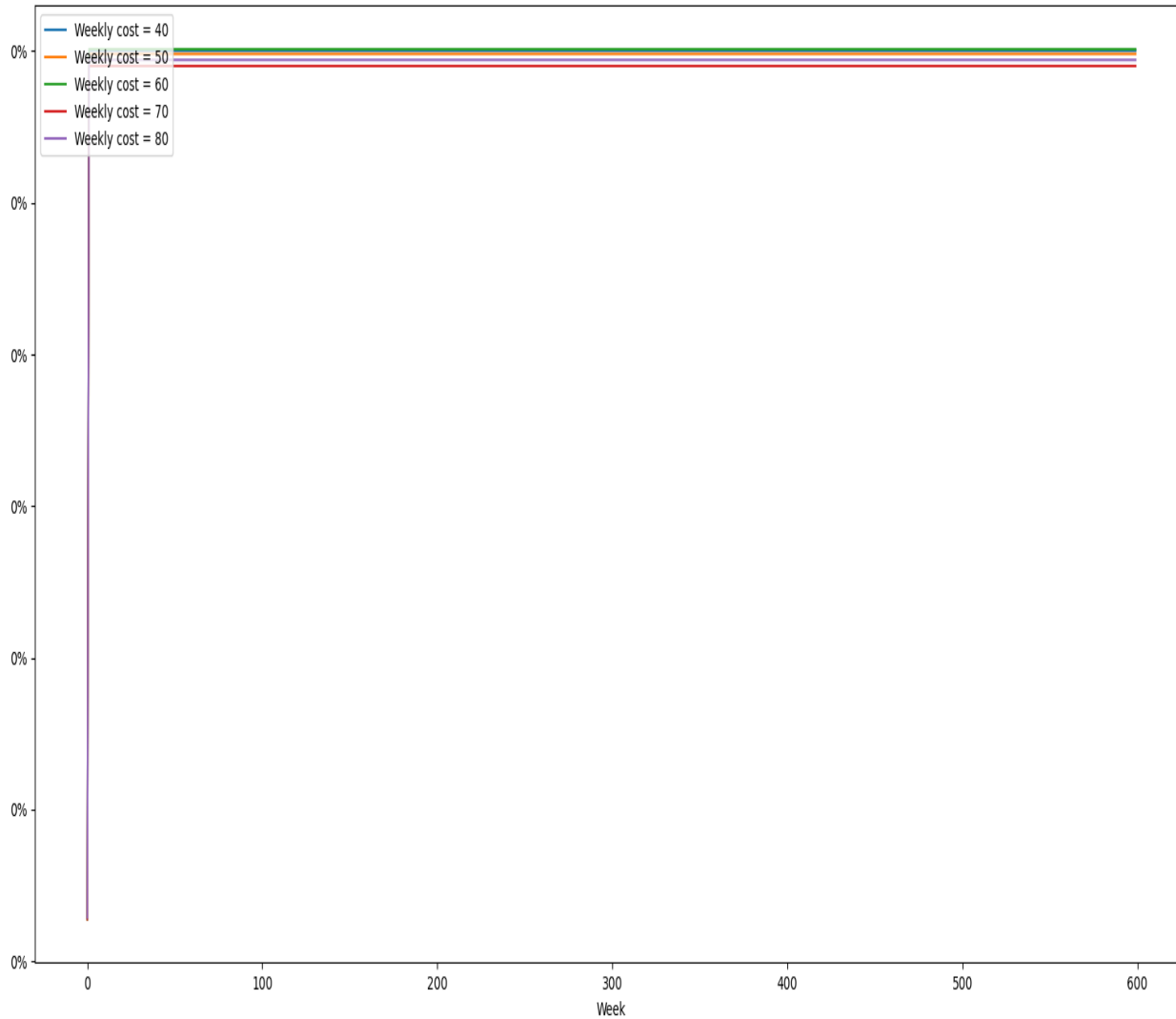




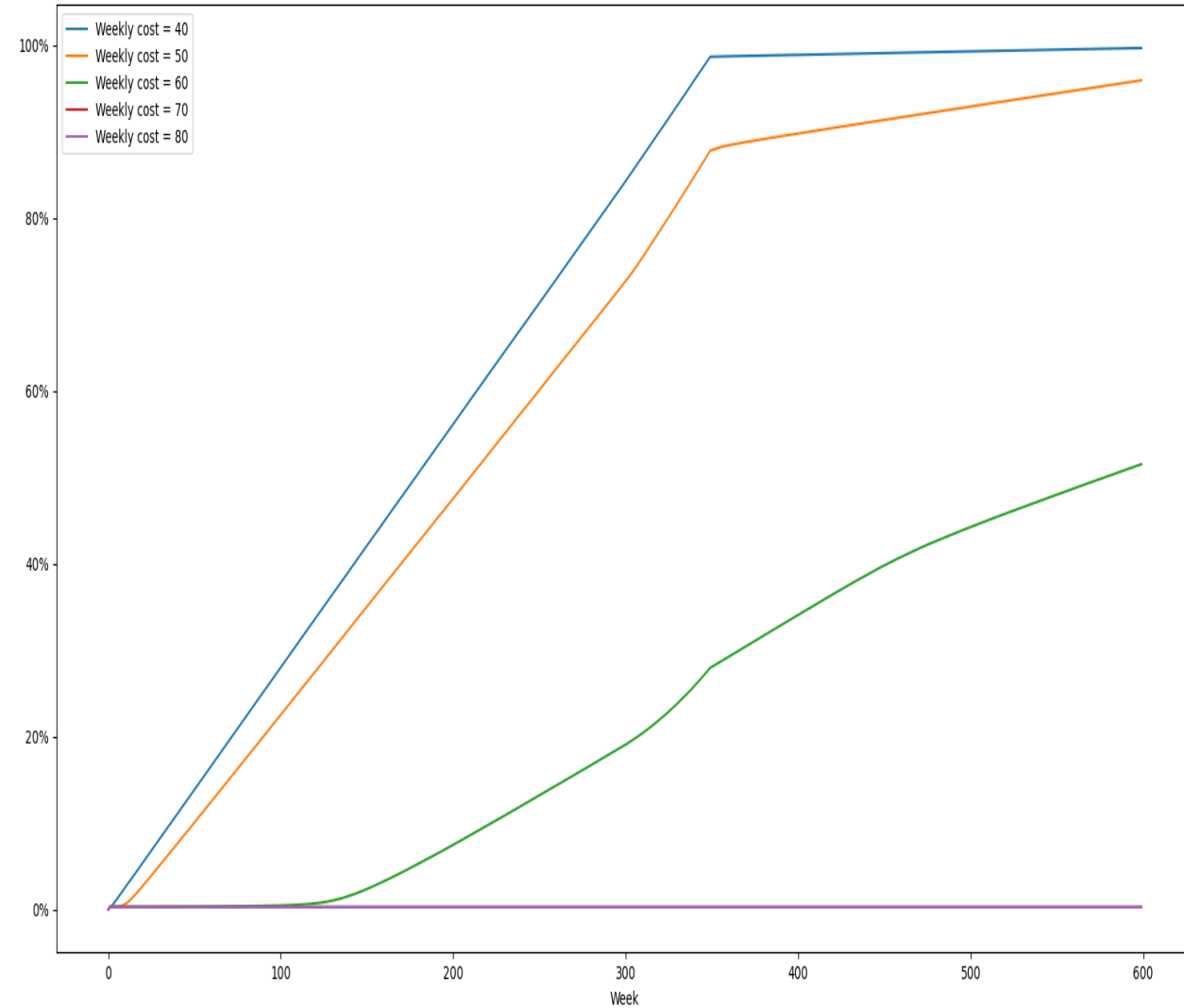
# Simulations pour D=600 km

## Espacement entre les camions : 10 m

Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow : 20000  
Leader's gas consumption decrease = 4%  
Follower's gas consumption decrease = 10%



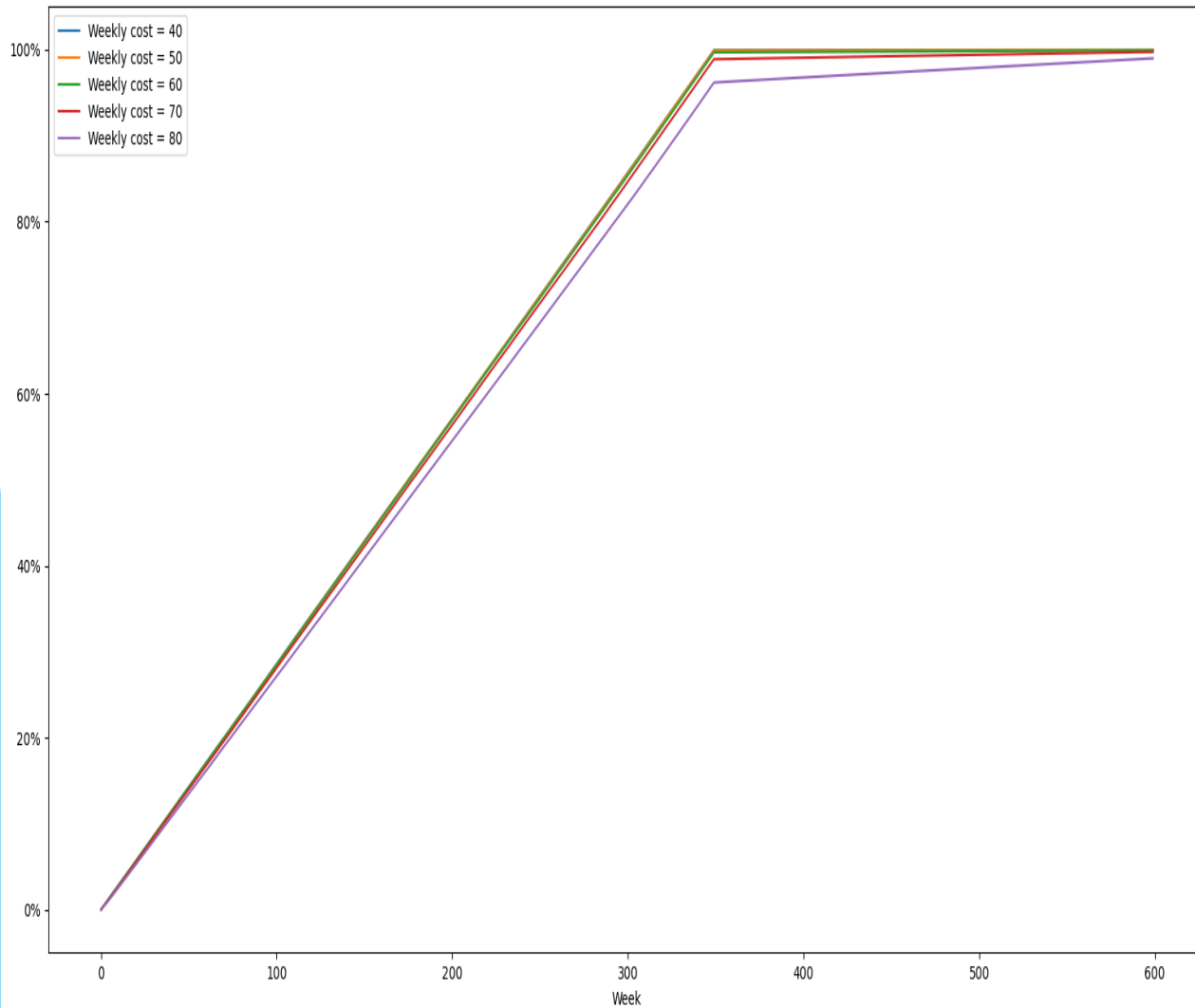
Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow : 40000  
Leader's gas consumption decrease = 4%  
Follower's gas consumption decrease = 10%



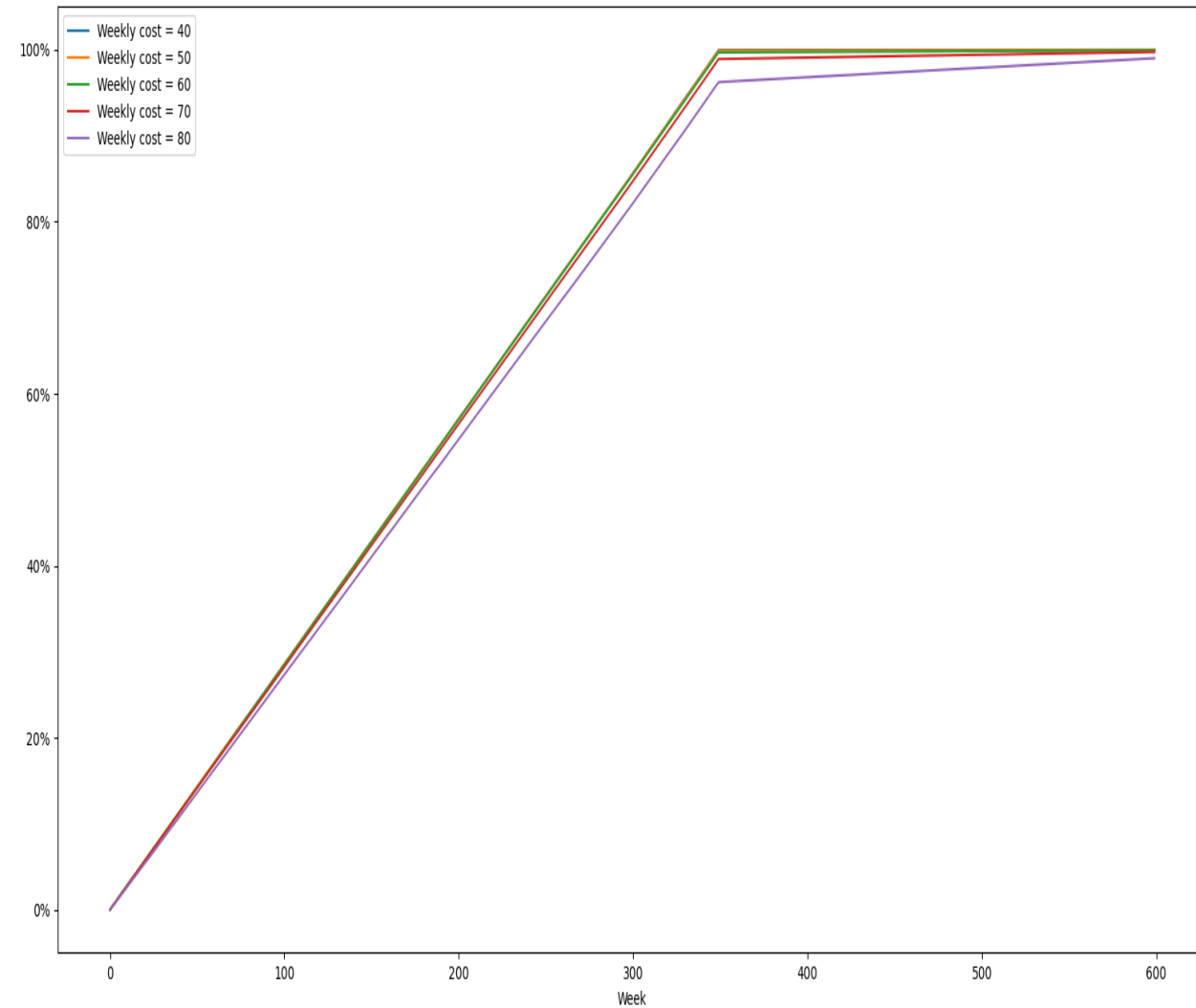
# Simulations pour D=600 km

## Espacement entre les camions : 5 m

Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow : 20000  
Leader's gas consumption decrease = 9%  
Follower's gas consumption decrease = 16%



Evolution of the share of vehicles equipped with platooning  
Daily flow : 40000  
Leader's gas consumption decrease = 9%  
Follower's gas consumption decrease = 16%



# Pour conclure

- ▶ Le platooning est présenté comme une solution prometteuse permettant de diminuer la consommation énergétique des camions
- ▶ La quantification des économies d'énergie est difficile
- ▶ De nombreuses difficultés techniques sont à résoudre
- ▶ Simulations effectuées pour des conditions quasi-idéales :
  - ▶ Les véhicules constamment à 80km/h à part lors de la formation platoon
  - ▶ La communication est possible entre tous les camions
  - ▶ Les camions n'effectuent que des trajets moyens ou longs sur des routes avec un flux de camions assez élevé
  - ▶ Le leader ne s'expose pas à des indemnités de retard
- ▶ Même dans ces conditions, le succès du platooning est conditionné à
  - ▶ Un faible surcoût du véhicule platoonable à l'achat
  - ▶ Des coûts à l'utilisation hors carburant qui demeurent inchangés (Pas plus de péage - de maintenance - de coût de structure etc...)
  - ▶ Une très grande efficacité énergétique des camions

# Pour conclure 2

- ▶ Remarque importante : Les économies d'énergie obtenus dans les différents tests sont calculées en comparant les véhicules roulant en platoon avec des véhicules roulant seuls
- ▶ En pratique, les véhicules conventionnels actuels ne roulent pas seuls et la distance de sécurité n'est pas toujours respectée  
=> les économies réelles du platooning largement inférieures aux estimations
- ▶ La diffusion du platooning à une large échelle semble nécessiter une intervention publique