

# CORRIGÉ

## Exercice 13 : *Problème d'urbanisation*

Bogota étudie depuis cinq ans la possibilité d'introduire une première ligne de métro ou de tramway dans son système de transport intégré.

Dans le cas du métro, les rapports sur la question déterminent que le flux optimal sera de 200 000 passagers par jour, pour un service opérationnel à partir de 2021. En 2016 Bogota comptait 150 000 passagers par jour dans son système massif de bus intra-urbains (*Transmilenio*) et d'après les études réalisées, seulement 80% de ces derniers pourraient préférer le métro (en fonction des zones desservies).

Dans le cas du tramway, les rapports font état d'un flux optimal de 180 000 passagers par jour, pour un service opérationnel à partir de 2019. En 2016 Bogota comptait 150 000 passagers par jour dans son système de bus intra-urbains (*Transmilenio*), cependant seulement 70% de ces derniers pourraient préférer le tramway (en fonction des zones desservies).

1. Nous faisons l'hypothèse que le nombre de passagers par jour de l'ensemble du système intégré va croître au même rythme que la population urbaine (question 3 de l'exercice 12), combien de temps faudra-t-il pour que le métro et le tramway aient atteint leurs limites de passagers véhiculés ?

Deux cas s'offrent à nous :

- (a) Le métro sera opérationnel en 2021, pour 200 000 passagers maximum avec une captation de 80% du flux du *Transmilenio*.

- i. Déterminons le nombre de passagers transportés par le *Transmilenio* au moment de l'introduction du métro en 2021. Il y avait 150 000 passagers en 2016, connaissant un évolution au rythme de l'augmentation de la population urbaine (+ 1,91% par an), nous avons :

$$150,000 * (1,0191)^5 = 164,883 \rightarrow 164883p$$

- ii. Sachant qu'en 2021, au moment de l'introduction du métro seulement 80% des passagers du *Transmilenio* choisiront cette nouvelle solution de mobilité intra-urbaine :

$$164,883 * 0,8 = 131,906 \rightarrow 131906p$$

- iii. Sachant que 131 906 passagers circuleront avec le nouveau métro, combien d'années faudra-t-il pour atteindre les 200 000 passagers transportés (niveau optimal) ?

$$131,906 * (1,0191)^n = 200,000$$

$$\ln\left(\frac{200,000}{131,906}\right) = n \ln(1,0191)$$

$$n = \frac{0,4162}{0,01892}$$

$$n = 21,998 \approx \mathbf{22}$$

Il faudra donc 22 ans pour atteindre un niveau de transport optimal du métro à Bogota. Autrement dit, en 2043 (par rapport à 2021 et son introduction).

- (b) Le tramway sera quant à lui opérationnel en 2019, pour 180 000 passagers maximum avec une captation de 70% du flux du *Transmilenio*.

- i. Déterminons le nombre de passagers transportés par le *Transmilenio* au moment de l'introduction du tramway en 2019. Il y avait 150 000 passagers en 2016, connaissant un évolution au rythme de l'augmentation de la population urbaine (+ 1,91% par an), nous avons :

$$150,000 * (1,0191)^3 = 158,760 \rightarrow 158760p$$

- ii. Sachant qu'en 2019, au moment de l'introduction du tramway seulement 70% des passagers du *Transmilenio* choisiront cette nouvelle solution de mobilité intra-urbaine :

$$158,760 * 0,7 = 111,132 \rightarrow 111132p$$

- iii. Sachant que 111 132 passagers circuleront avec le nouveau tramway, combien d'années faudra-t-il pour atteindre les 180 000 passagers transportés (niveau optimal) ?

$$111,132 * (1,0191)^n = 180,000$$

$$\ln\left(\frac{180,000}{111,132}\right) = n \ln(1,0191)$$

$$n = \frac{0,4822}{0,01892}$$

$$n = 25,49 \approx \mathbf{25,5}$$

Il faudra donc 25 ans et 6 mois pour atteindre un niveau de transport optimal avec le tramway à Bogota. Autrement dit, en 2044 (par rapport à 2019 et son introduction).

## 2. Combien de passagers seraient alors transportés par l'ensemble du système intégré avec chacun des deux nouveaux moyens de transports ?

(a) Pour le métro :

- i. Déterminons le nombre de passagers usant toujours du *Transmilenio* en 2021 (après l'introduction du métro) :

$$164,883 - 131,906 = 164,883 * 0,2 = 32,977 \rightarrow 32977p$$

- ii. Ensuite, ce nombre de passagers a suivi la même évolution que la population urbaine (augmentation de 1,91%) jusqu'en 2043, date à laquelle le métro a atteint son niveau optimal :

$$32,977 * (1,0191)^{21,99} = 49,991 \rightarrow 49991p$$

$$200000 + 49991 = \mathbf{249\ 991p}$$

Dans le cadre de son nouveau système de transport multimodale intégrant désormais un métro, 249 991 seront transportés au moment où le métro atteindra son niveau optimal (en 2043).

(b) Pour le tramway :

- i. Déterminons le nombre de passagers usant toujours du *Transmilenio* en 2019 (après l'introduction du tramway) :

$$158,760 - 111,132 = 158,760 * 0,2 = 47,628 \rightarrow 47628p$$

- ii. Ensuite, ce nombre de passagers a suivi la même évolution que la population urbaine (augmentation de 1,91%) jusqu'en 2044, date à laquelle le tramway a atteint son niveau optimal :

$$47,628 * (1,0191)^{25,49} = 77,145 \rightarrow 77145p$$

$$180000 + 77145 = \mathbf{257\ 145p}$$

Dans le cadre de son nouveau système de transport multimodale intégrant désormais un tramway, 257 145 seront transportés au moment où le tramway atteindra son niveau optimal (en 2044).

- (c) Toutefois pour comparer le nombre de passagers véhiculés par chaque mode de transport, il faut exprimer les deux options à la même date (de référence). En prenant 2043, nous avons :

*Metro* : **249 991 p**

$$\begin{aligned} \textit{Tramway} : & 47,628 * (1,0191)^{24} = 75,000 \rightarrow 75000p \\ & 180000 + 75000 = \mathbf{255\ 000p} \end{aligned}$$

- 3. Sous l'hypothèse d'équivalence des coûts de construction et d'entretien dans les deux cas, à votre avis quelle décision doit prendre aujourd'hui le conseil municipal de Bogota ? Donner deux arguments qui soutiennent votre réponse.**

Clairement, plus de passagers seront transportés avec un système multimodal incluant un tramway par rapport au métro. Par ailleurs le seuil de saturation du tramway intervient un an et demi après celui du métro, dégageant ainsi un temps supplémentaire afin de prévoir son extension ou sa complémentarité avec un autre type de moyen de transport. Il est également important de noter que le choix du métro apparaît peu judicieux dans la mesure où sa phase de construction nécessite deux années supplémentaires par rapport au tramway, sa mise en service en sera repoussée d'autant. Enfin, la complémentarité du tramway avec le *Transmilenio* apparaît plus efficace que celle du métro, dans la mesure où la répartition des usagers sur l'un et l'autre moyen de transport apparaît plus équilibrée.

Pour résumé, le tramway apparaît comme le meilleur choix possible face au métro : mise en service plus rapide, meilleure capacité pour l'ensemble du système multimodal, complémentarité plus efficace avec le *Transmilenio*, temps d'amortissement plus long.