

prenant en compte les véhicules qu'il aperçoit (par exemple pendant une heure) fera un calcul biaisé. Il ne verra pratiquement aucune voiture roulant à des vitesses proches de la sienne, il verra un peu plus les voitures dont la différence de vitesse avec la sienne est de 10 km/h et il verra de nombreuses voitures sensiblement plus rapides que la sienne, ou sensiblement plus lentes.

Des biais d'observation

Comment ce biais d'observation se traduit-il ? Bryan Dawson et Troy Riggs, tous deux professeurs de mathématiques à l'*Union University* de Jackson, ont mené des calculs pour répondre à ces questions. Ils ont supposé que les vitesses des voitures sur une autoroute (sans bouchon) se répartissent selon une loi normale, ce qui est l'hypothèse la plus raisonnable. Sur cette base, ils ont calculé le biais d'observation des automobilistes qui tentent d'évaluer la vitesse des autres automobilistes en faisant la moyenne des vitesses qu'ils observent pour les véhicules qui les dépassent et ceux qu'ils dépassent (les automobilistes calculant ces moyennes disposent de moyens pour connaître la vitesse des véhicules et la leur).

Le biais d'observation dépend bien sûr de la vitesse de celui qui fait l'évaluation. Les courbes de la figure 3 montrent les résultats des calculs :

— Si vous êtes un peu au-dessous de la moyenne générale des véhicules de l'autoroute, vous aurez l'impression que les voitures roulent plus rapidement que cette moyenne. Vous aurez donc le sentiment d'être particulièrement lent, ce qui sans doute vous incitera à accélérer un peu.

— Si, au contraire, vous êtes un peu au-dessus de la moyenne générale, vous percevrez la moyenne des autres véhicules comme sensiblement inférieure à ce qu'elle est vraiment. Vous aurez donc le sentiment d'être vraiment trop rapide par rapport aux autres véhicules, ce qui vous encouragera à ralentir.

L'effet global de la mauvaise appréciation des vitesses des autres véhicules dans le cas d'un trafic fluide est donc favorable à la sécurité de tous : il tend à uniformiser les vitesses et augmente donc la sécurité.

Les biais de perception n'ont pas nécessairement des effets désastreux !

Notons cependant qu'il n'y a pas de contradiction entre les conclusions des chercheurs canadiens obtenues par simulation et les conclusions des mathématiciens de l'Université de Jackson. En effet, bien que s'appliquant aux situations de circulation fluide (à cause de l'hypothèse d'une distribution normale des vitesses), il n'est pas absurde de penser que la surévaluation de la vitesse des autres véhicules aperçus par un véhicule lent s'applique grossièrement aussi aux voitures prises dans un embouteillage.

Le calcul mathématique de B. Dawson et T. Riggs confirme l'idée des Canadiens : dans une file lente, on surévalue la vitesse moyenne des autres véhicules, ce qui incite à changer de file inutilement : l'effet intéressant d'accélération des files lentes et de ralentissement des files rapides dans un trafic fluide devient dangereux dans le cas des embouteillages.

Tout semble clair et bien cohérent puisque les expériences avec des films, les

simulations informatiques, et les calculs mathématiques aboutissent aux mêmes conclusions dans le cas des embouteillages.

Malheureusement, les problèmes d'évaluations probabilistes présentent d'autres pièges dans le cas d'une autoroute avec plusieurs voies de circulation roulant à des vitesses moyennes différentes.

Les conclusions que nous avons obtenues dans le cas des embouteillages l'ont été sous l'hypothèse que les files ont en moyenne des vitesses égales. Bien sûr, dans la réalité ce n'est pas toujours le cas. Il existe une multitude de raisons conduisant deux files d'autoroute ou de périphérique à avoir des vitesses différentes. Un accident sur l'une des voies, une bretelle d'entrée quelques centaines de mètres en avant, la suppression d'une des voies due à un rétrécissement, un conducteur excessivement prudent et timoré qui ralentit tous ceux qui le suivent, une file réservée aux camions...

Tout cela conduit à la mise en place de régimes de circulation où l'une des files

3. La vitesse moyenne perçue

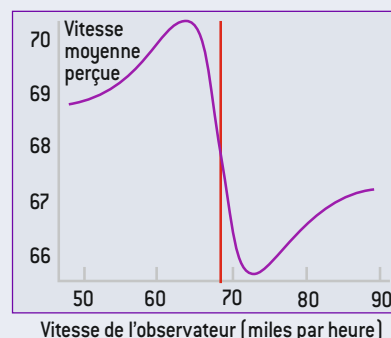
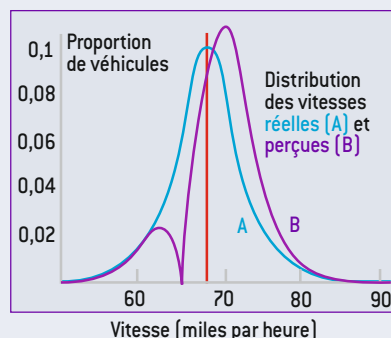
Bryan Dawson et Troy Riggs ont évalué le biais d'observation d'un automobiliste essayant de calculer la moyenne des vitesses des véhicules qu'il aperçoit sur une autoroute fluide.

Ils ont supposé, hypothèse raisonnable, que la vitesse des véhicules se répartissait selon une loi normale de Gauss-Laplace, centrée sur 68 miles par heure (les calculs ont été faits par des Américains...).

Une voiture voit très peu de voitures roulant à la même vitesse. Les voitures ayant des vitesses bien différentes sont sur-représentées (on en dépasse plus ou, au contraire, on est souvent dépassé par elles) : d'où une distribution de vitesses perçue très différente de la distribution réelle des vitesses. Une voiture roulant à 65 miles par heure voit ainsi la fausse distribution de la première courbe qui lui donne

l'impression que beaucoup plus de voitures qu'il n'y en a en réalité vont plus vite qu'elle. L'effet général sur la vitesse moyenne perçue dépend de la vitesse à laquelle on roule. Il est donné par la courbe de droite.

Si on roule un peu en dessous de la moyenne, on perçoit une vitesse moyenne surévaluée, alors qu'inversement si on roule un peu au-dessus, on sous-évalue la vitesse moyenne.



4. Le paradoxe des files lentes et rapides

Une section d'autoroute d'une longueur de 18 km possède deux voies R et L. À cause de trous dans la chaussée (par exemple), la voie L est lente et la voie R est rapide. Les voitures n'ont pas le droit de changer de file sur cette section.

La voie L avance à 18 km/h (5 m/s). Les voitures sur la voie L sont séparées de 5 mètres et donc, en un point donné de la voie L, il passe une voiture chaque seconde. Une voiture engagée sur L y reste une heure avant d'arriver à l'extrémité de la section. À chaque instant, il y a 3 600 voitures sur la voie L.

La voie R avance à 72 km/h (20 m/s). Les voitures sur la voie R sont espacées de 10 mètres et donc en un point donné de la voie R, il passe deux voitures par seconde. Une voiture engagée sur R y reste 15 minutes. À chaque instant, il y a 1 800 voitures sur la voie R. Une voiture sur la voie R double trois voitures de la voie L par seconde et une voiture sur la voie L est doublée trois fois toutes les deux secondes.

Je suis sur cette autoroute, il se produit un dépassement ; quelle est la probabilité P_1 que je sois celui qui double ? Quelle est la proba-

bilité P_2 que je sois celui qui est doublé ?

Raisonnement 1

À chaque dépassement, il y a une voiture dépassée et une voiture qui dépasse : j'ai donc autant de chance d'être dans l'une ou l'autre. La réponse est $P_1 = P_2 = 1/2$.

Raisonnement 2

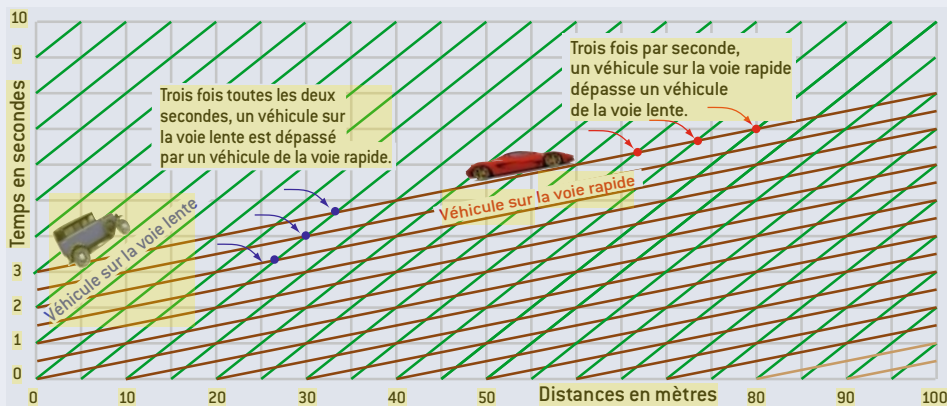
Sur les 18 kilomètres de la section d'autoroute, il y a 3 600 voitures lentes et 1 800 voitures rapides. J'ai donc deux chances sur trois d'être dans une voiture lente et une chance sur trois d'être dans une voiture rapide. Si je suis dans une voiture lente, au

prochain dépassement, je serai dépassé, si je suis dans une voiture rapide, je dépasserai. Les réponses sont donc $P_1 = 1/3$ et $P_2 = 2/3$.

Raisonnement 3

À l'entrée de la section, il passe une voiture lente par seconde, et deux voitures rapides par seconde (c'est le cas en fait en chaque point du tronçon). En me présentant à l'entrée de l'autoroute, si je ne sais pas quelle est la voie rapide et la voie lente, et que les voitures se disposent au hasard, je serai 2 fois plus souvent sur la voie rapide que sur la voie lente (elle absorbe deux fois moins de véhicules). Quand j'emprunte cette section d'autoroute, je suis donc deux fois sur trois dans une voiture qui dépasse et une fois sur trois dans une voiture qui est dépassée. Les réponses sont donc $P_1 = 2/3$ et $P_2 = 1/3$.

C'est ennuyeux ! les trois calculs parfaitement rigoureux aboutissent à trois conclusions différentes ! Comment expliquer ce qui apparaît comme une absurdité totale ? (La solution du paradoxe est donnée dans le texte principal.)



avance réellement moins vite que sa ou ses voisines. Si vous êtes pris dans une telle file, il devient rationnel d'en changer. L'illusion de la file lente existe, oui, mais les vraies files lentes aussi !

La situation créée par ces files avançant à des vitesses différentes est délicate à traiter du point de vue des statistiques. Plusieurs effets de sélection et de perspective s'y produisent et perturbent les évaluations des probabilités quand nous voulons répondre à la question : ai-je de la chance, oui ou non ?

Il y a trois raisonnements possibles (voir la figure 4). Le premier est qu'à chaque dépassement, il y a une voiture dépassée et une voiture qui dépasse. Quand il y a un dépassement, j'ai donc une chance sur deux d'être dépassé ou de dépasser.

Le deuxième est que si l'une des files avance plus vite, les véhicules y seront

plus espacés que dans la file lente où les voitures s'agglomèrent. Sur la section d'autoroute, il y aura donc plus de voitures dans la file lente que dans la file rapide et en moyenne nous nous trouverons plus fréquemment dans la file lente (dont l'effectif est plus grand) que dans la file rapide (comportant moins de véhicules). Si toutes les files ne vont pas à la même vitesse, le sentiment de ne pas avoir de chance est donc fondé objectivement : d'après ce deuxième raisonnement, on se retrouve vraiment plus souvent dans la mauvaise file. Remarquons que cette conclusion contredit la conclusion du premier raisonnement... mais ce n'est pas fini.

Un troisième raisonnement est encore possible. Les files rapides, même si les véhicules y sont moins serrés, ont des débits plus importants que les files lentes (souvent presque immobilisées) : il y passe un

plus grand nombre de voitures par seconde, car elles ne se gênent pas mutuellement (un bouchon diminue le débit de voitures). Il en résulte que parmi toutes les voitures qui s'engagent dans une section où il y a une file lente et une file rapide et que personne ne change de file, il y a plus de voitures qui empruntent la file rapide que de voitures qui empruntent la file lente. Celui qui, à l'entrée de la section, choisit au hasard une file se trouvera plus fréquemment dans la file rapide que dans la file lente.

Trois raisonnements donnent trois conclusions différentes ! Sur la figure 4, avec des chiffres précis, la probabilité d'être dans la file rapide est égale, selon les raisonnements, à $1/2$, $1/3$ ou $2/3$, ce qui bien sûr est paradoxal. Comment s'en sortir ?

La situation est analogue à celle du paradoxe de Bertrand où l'on s'interroge sur la pro-