

ART & SCIENCE

Mondrian et les arbres

Une méthode de visualisation de données rend hommage au peintre néerlandais, célèbre pour ses compositions abstraites. Elle est fondée sur l'idée d'arbre, un motif essentiel dans l'évolution de l'œuvre de Mondrian.

Loïc MANGIN

Depuis le 16 octobre 2014 et jusqu'au 15 avril 2015, l'Académie américaine des sciences, à Washington, propose une exposition étonnante. L'une des œuvres exposées est représentée sur la page ci-contre. Une composition du peintre néerlandais Piet Mondrian (1872-1944) ? Pas tout à fait. Même si la ressemblance avec, par exemple, l'œuvre *Composition C (n° III) avec rouge, jaune et bleu* est évidente, il s'agit de bien autre chose. En fait, l'exposition, intitulée *Every AlgoRiThm has ART in it: Treemap Art Project*, est dédiée aux réalisations de Ben Shneiderman, qui est... professeur émérite d'informatique à l'Université du Maryland, à *College Park* ! Quels sont les liens entre le pionnier de l'abstraction et l'informatique ? Ils sont plus profonds qu'il n'y paraît.

D'abord, voyons en quoi consiste l'œuvre qui se prend pour un Mondrian. C'est une *treemap*, c'est-à-dire une façon de visualiser des données. L'idée est de représenter des informations selon un mode hiérarchique dans un espace limité, en l'occurrence un rectangle. Le concept a été inventé par B. Shneiderman lui-même, au début des années 1990.

Confronté à un serveur informatique souvent saturé, il cherche à repérer les fichiers et les dossiers volumineux. Il développe alors une méthode pour représenter l'espace occupé par chacun des éléments du disque de stockage. Le point de départ

est l'arborescence du contenu (le *tree de treemap* signifie *arbre*) : chaque branche est transformée en un rectangle qui est ensuite pavé de rectangles plus petits correspondant aux sous-branches et ainsi de suite jusqu'aux fichiers, eux-mêmes illustrés par des rectangles. À chaque fois, la superficie d'un rectangle est proportionnelle au volume de son contenu (*voir la figure ci-dessous*). Un algorithme se charge de faire en sorte que l'ensemble occupe également un rectangle.



D'autres caractéristiques, telles que la couleur, peuvent aider à se repérer dans l'ensemble des données. En fin de compte, l'arborescence et les éléments qui y sont rattachés sont projetés sur un plan, ou une carte (*map* en anglais), un peu comme si on regardait du dessus un arbre.

Cette technique a fait florès et on l'utilise aujourd'hui pour visualiser et analyser le budget d'un État, les résultats détaillés d'une élection, la nature des exportations d'un pays, la population urbaine mondiale,

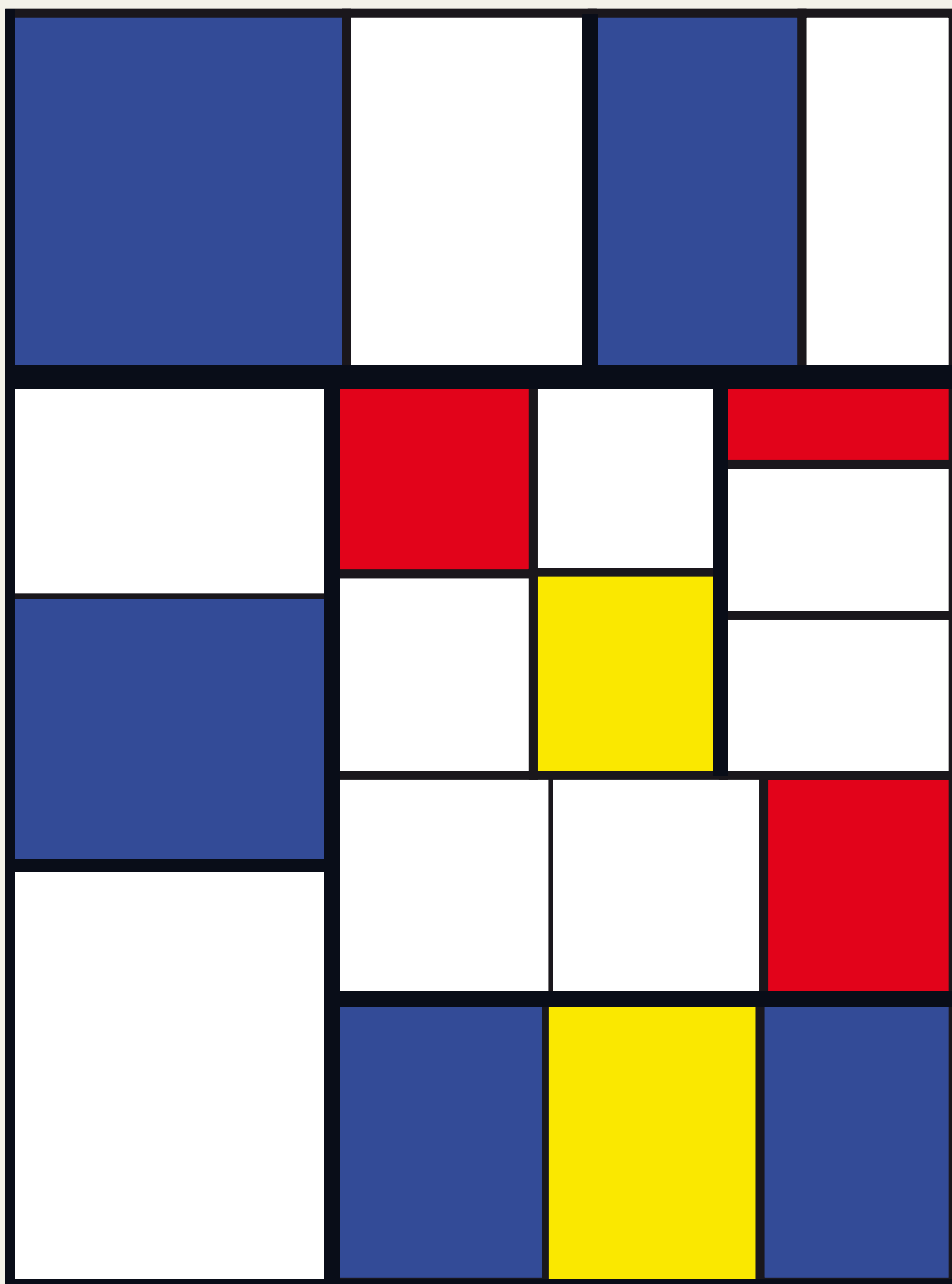
les émissions mondiales de dioxyde de carbone... Qu'en est-il de la *treemap* Mondrian ?

B. Shneiderman s'est intéressé au palmarès dressé par une webradio américaine à l'occasion de son dixième anniversaire. Les 20 premiers artistes sont représentés par un rectangle dont la surface rend compte de leur popularité (le nombre de fois où ils ont été écoutés). La couleur correspond au genre : le rock en blanc, la pop en jaune, les musiques alternatives en bleu et le hip-hop en rouge.

Le choix des couleurs de la *treemap* est ici un hommage à Mondrian, et ce n'est pas fortuit. En effet, des historiens de l'art mettent en avant la place centrale du motif de l'arbre qui aurait conduit l'artiste vers l'abstraction.

Schématiquement, jusqu'à la fin des années 1900, les arbres sont fréquents dans les peintures de Mondrian, mais ils sont surtout des éléments dans des paysages où ils sont néanmoins essentiels. C'est le cas de *Arbres le long du Gein* (1907) ou de *Peupliers rouges au couchant* (1908). Ensuite, l'arbre devient le sujet unique, notamment dans *Soir : l'arbre rouge* (1910) et *L'Arbre gris* (1911). Enfin, la transition vers l'abstraction commence avec *Pommier en fleurs* (1912) et *Composition VII* (1913). L'arbre s'estompe et est progressivement remplacé par des lignes verticales et horizontales, vestiges des branches. Mondrian est le père spirituel des *treemaps* ! ■

Le site de l'exposition : <http://bit.ly/1q7QAxg>
Le catalogue de l'exposition : <http://bit.ly/1rG27TX>



Ben Shneiderman

IDÉES DE PHYSIQUE

Batailles de toupies

L'équilibre des toupies, que les joueurs cherchent à perturber chez leurs adversaires, est étonnant. Sa clef ? Le couple gyroscopique.

Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK

«Trois, deux, un... hyper-vitesse!», s'écrient les enfants en lançant dans l'arène leurs toupies *Beyblade* (nom d'une série de mangas) d'attaque, de défense ou d'endurance (voir la figure 1). Quelle sera la dernière toupie à rester debout tandis que les autres auront été déséquilibrées par une collision ou éjectées de l'arène, ou auront simplement cessé de tourner ? Et qu'est-ce qui différencie les toupies d'attaque de celles de défense ou d'endurance ?

Immobile sur sa pointe, une toupie tombe quand on la lâche. Mais lorsqu'elle tourne rapidement autour de son axe, elle entame un mouvement dit de précession, l'axe décrivant un cône autour de la verticale (voir la figure 3). D'où provient cette stabilité et qu'est-ce qui empêche la toupie de tomber ?

Rotation rapide, couple intense

Pour le comprendre, commençons par une expérience plus simple et facile à reproduire chez soi. Prenons une roue de vélo dont l'axe de rotation est muni de poignées. Saisissons ces dernières de telle sorte que l'axe soit horizontal devant nous, la roue étant verticale. Un comparse fait alors tourner rapidement la roue de telle façon que son sommet s'éloigne de notre tronc (voir la figure 2). Ensuite, faisons tourner les poignées comme un guidon, afin de faire pivoter la roue vers la gauche.

LES AUTEURS



Jean-Michel COURTY et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

Quelque chose d'inattendu se produit : nous ressentons une résistance au mouvement de rotation, tandis que la roue a tendance à basculer sur le côté droit. C'est l'action du couple gyroscopique, d'autant plus intense que la rotation de la roue est rapide.

Quelle est l'origine de ce couple gyroscopique ? Piquons une punaise colorée sur la périphérie du pneu et analysons son mouvement. Lorsque la roue tourne à vitesse constante autour de l'axe horizontal, la trajectoire est un cercle vertical et l'accélération de la punaise est dirigée vers le centre. Cela signifie que la force qu'elle subit de la part de la roue est une force centripète, dirigée



1. LES COMBATS DE TOUPIES se déroulent dans une arène incurvée, avec des toupies dont on peut modifier les caractéristiques (pointe, couronne, masse) de façon à en faire des toupies d'attaque (a), de défense (b) ou d'endurance (c). Chaque joueur tente d'éjecter ou déstabiliser les toupies adverses ; il gagne quand la sienne est la dernière à rester en équilibre dans l'arène.

vers l'intérieur; réciproquement, en vertu de la loi de l'action et de la réaction, elle exerce sur la roue une force centrifuge, c'est-à-dire dirigée vers l'extérieur.

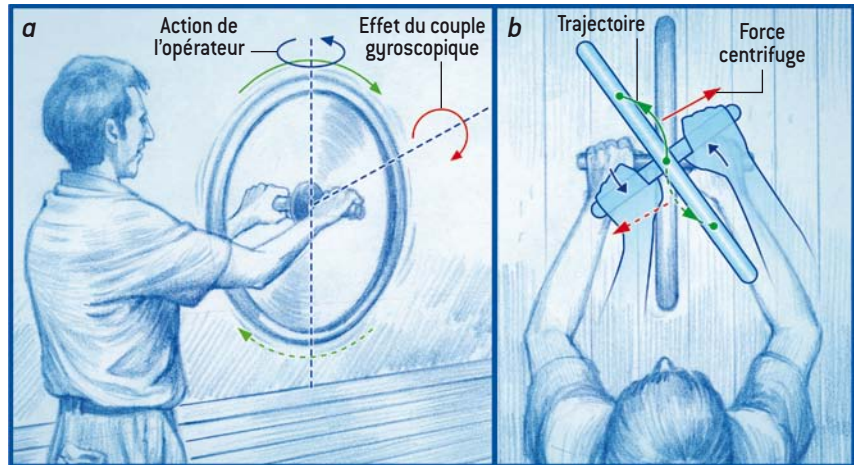
Qu'en est-il lorsque nous tournons lentement la roue vers la gauche ? La trajectoire de la punaise n'est plus un cercle parfait : quand la punaise est en haut, sa trajectoire s'incurve vers la gauche. Cela signifie qu'à son accélération centripète vient s'ajouter une accélération vers la gauche. Il en résulte une force supplémentaire, exercée par la punaise sur la roue et dirigée vers la droite. Lorsque la punaise est en bas et qu'elle se rapproche de nous, sa trajectoire s'incurve cette fois vers la droite, d'où une force supplémentaire sur la roue dirigée vers la gauche, mais de même intensité que la précédente.

Si la punaise nous a aidés à visualiser le mouvement, les conclusions qui précèdent s'appliquent aussi à un morceau de pneu situé en haut ou en bas de la roue ; et en raison du caractère solide du matériau, ces forces nouvelles viennent s'appliquer sur la jante.

Pour les autres morceaux du pneu, il est plus difficile de visualiser les trajectoires, mais le calcul montre que chaque morceau de pneu exerce sur la jante une force dirigée vers la droite dans la moitié supérieure de la roue, et vers la gauche dans la partie inférieure. Globalement, ces forces se compensent, mais elles créent un couple qui tend à faire basculer le plan de la roue vers la droite. Ce couple gyroscopique est perpendiculaire à la fois à l'axe de rotation rapide et à l'axe de la rotation imprimée par nos mains à la roue.

Stabilité gyroscopique grâce à la précession

C'est ce couple gyroscopique qui stabilise une toupie, grâce à un mécanisme particulier. Habituellement, pour maintenir un objet dans une certaine position, nous exerçons une force opposée à son déplacement afin de le ramener vers sa position initiale. Mais ce n'est pas la seule solution possible. Si l'on vous pousse dans le dos, plutôt que de résister, vous pouvez esquiver en continuant à avancer, mais en tournant vers

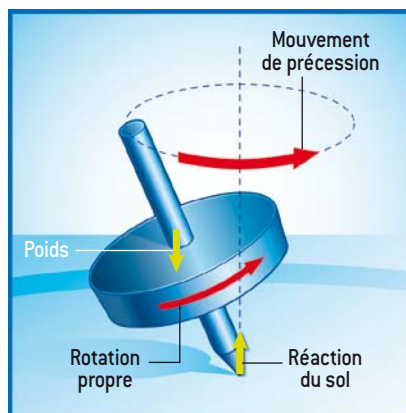


2. QUAND ON ESSAIE DE FAIRE PIVOTER LA ROUE, en rotation rapide, vers la gauche, une résistance apparaît et la roue tend à s'incliner vers la droite (a). C'est l'effet du couple gyroscopique (b) : la trajectoire des points de la roue (en vert ; seuls les points haut et bas sont illustrés) n'étant plus circulaire, des forces centrifuges supplémentaires apparaissent, dont l'effet global est un couple qui tend à incliner la roue.

la gauche. Vous allez alors effectuer un cercle et revenir à votre position initiale, sans jamais vous être opposé à la force qui vous meut.

C'est exactement le cas pour les toupies. Lorsqu'on cherche à déstabiliser une toupie verticale, son sommet décrit un cercle autour de la verticale, un cercle d'autant plus petit que la rotation de la toupie est rapide. Lorsque le facteur déstabilisant est le poids (c'est le cas lorsque la toupie est lâchée en étant inclinée), l'effet est le même. Au lieu de tomber, l'axe de la toupie se met à tourner autour de la verticale : c'est le mouvement de précession. La rotation et la précession de la toupie créent un couple gyroscopique qui compense le couple dû au poids. Autrement dit, la toupie n'échappe pas au poids, mais elle réussit en quelque sorte à l'esquiver.

Qu'en est-il alors des toupies de combat qui passionnent tant les enfants ? L'arène dans laquelle elles évoluent est une sorte de grand bol. Pour tenter de gagner, il est possible de modifier les caractéristiques de la toupie : la forme de la pointe, la couronne qui entre en contact avec les toupies adverses ou la masse centrale qui, avec la couronne, détermine l'inertie de la toupie (cette dernière est d'autant plus élevée qu'on éloigne la masse de l'axe de rotation).



3. UNE TOUPIE LÉGÈREMENT INCLINÉE ne tombe pas : le couple gyroscopique, créé par la rotation rapide et le mouvement de précession, compense le couple dû au poids et à la réaction du sol.

■ BIBLIOGRAPHIE

L'explication classique du couple gyroscopique fait appel à la conservation du moment cinétique.

Voir par exemple :

E. Hecht, **Physique** [chapitre « Mouvement de rotation »], de Boeck, 1999.



Retrouvez la rubrique
Idées de physique sur
www.pourlascience.fr

Pour tourner le plus longtemps possible, les joueurs utilisent des toupies d'endurance. Leurs pointes sont en forme de cône, très pointu, afin de réduire au minimum le frottement avec le support.

La stratégie d'endurance n'est cependant pas infaillible. Les toupies d'attaque, en cognant les toupies, peuvent les éjecter de l'arène ou les faire tomber en les déstabilisant. Pour créer des chocs violents, la base d'une toupie d'attaque est plate. Ainsi, puisque l'arène n'est pas plane, le contact de la base sur le support est un cercle qui agit comme une roue et anime la toupie de déplacements rapides. En outre, la couronne d'une telle toupie est crantée et très irrégulière, de façon à ajouter au choc le mouvement de ces aspérités dû à la rotation de la toupie sur elle-même.

Pour ne pas voir son jouet éjecté ou déstabilisé par une collision avec une toupie

d'attaque, on peut opter pour une toupie de défense. Elle est plus massive pour ne pas être éjectée, sa couronne est lisse pour ne pas accrocher, et surtout sa base est non plus plate, mais hémisphérique, afin d'assurer un bon contact. Lors d'un choc, une telle toupie s'inclinera beaucoup moins et sera bien plus stable.

En revanche, la base large d'une toupie de défense est source de frottements. Cette toupie tournera donc moins longtemps qu'une toupie d'endurance. On aura alors la tentation de choisir une toupie d'équilibre, censée présenter à un moindre degré toutes les qualités des trois autres. Il reste cependant douteux que ces appréciations de physiciens soient les critères retenus par les enfants pour choisir des toupies aux noms aussi évocateurs que *Big Bang Pegasus* ou *Diablo Nemesis* ! ■

Toutes les ARCHIVES

■ Pour la Science

■ Dossier
Pour la Science

depuis

1996



maintenant disponibles sur www.pourlascience.fr*

* Numéros à lire en ligne ou téléchargeables en PDF, en vente à l'unité ou accessibles par abonnement.

QUESTION AUX EXPERTS

Peut-on échapper à la pollution en ville ?

Oui, en partie ! La pollution de l'air y est très hétérogène et certains endroits sont (un peu) préservés.

Isabelle COLL



Un rapport de l'Agence européenne pour l'environnement estime qu'en Europe, près de 95 % de la population urbaine est exposée à des concentrations de particules fines excédant les recommandations de l'OMS, et susceptibles à long terme de déclencher des maladies respiratoires et des cancers. En outre, un rapport du Sénat publié en 2011 indique que la concentration de dioxyde d'azote (NO_2), un gaz nocif pour les voies respiratoires, dépasse le maximum autorisé dans toutes les grandes agglomérations françaises. Dans les zones urbaines denses, ces composés constituent les deux principaux polluants atmosphériques dangereux pour la santé. Peut-on y échapper ?

Dans les régions urbanisées, les transports sont responsables de près de 60 % – et jusqu'à 80 % localement d'après le Sénat – des émissions d'oxydes d'azote (NO et NO_2), et de plus d'un quart des émissions de particules fines. Le reste des émissions provient des secteurs industriel, résidentiel, tertiaire et agricole, selon les données d'Airparif pour la région Ile-de-France. La concentration de polluant dépend de la densité des émetteurs, mais aussi de l'efficacité de la dilution dans l'atmosphère – elle-même fonction de divers paramètres, tels que la force du vent.

Les centres-villes sont à éviter – du moins ceux où la circulation et l'activité commerciale sont denses –, car leur compacité défavorise la dispersion des polluants. En outre, on y est exposé aux bouffées d'émissions de solvants

ou de graisses issues de certains commerces (garages, pressings, etc.) et aux particules provenant de la cuisson des aliments.

Il est aussi conseillé de s'éloigner de la circulation. Au centre d'un carrefour à sens giratoire fréquenté, la concentration de polluants peut être supérieure de plus de 30 % par rapport à la périphérie. Quand l'espace environnant est dégagé, l'influence du trafic s'étend sur plus de 100 mètres. La concentration de polluants est *a minima* doublée dans l'habitacle des voitures, peu ventilé. La position des ventilations, à hauteur des pots d'échappement des véhicules environnants, contribue à y dégrader la qualité de l'air.

Endroits confinés, danger

De façon générale, les milieux confinés sont à éviter. Dans les parkings couverts, les voitures polluent même à l'arrêt, car les carburants s'évaporent légèrement. Selon une étude de l'Agence française de sécurité sanitaire de l'environnement et du travail (AFSSET) réalisée en 2007, la mauvaise qualité de l'air y entraîne un risque pour la santé des usagers et surtout des professionnels. Aux heures d'arrivée et de départ du bureau, la concentration des polluants y est multipliée par 10 à 100 par rapport au niveau urbain moyen.

Dans le réseau souterrain du métro, les gaz polluants sont aussi concentrés que dans l'environnement extérieur immédiat, d'où ils rentrent par les ventilations et les prises d'air. En revanche, les particules y atteignent des

concentrations élevées, comparables à celles mesurées à proximité du trafic. Entre un tiers et la moitié d'entre elles proviennent de sources internes (frottements sur les rails, etc.).

Est-on protégé chez soi ? Pas complètement, selon une étude d'Airparif réalisée en 2004, car l'air circule bien entre l'extérieur et l'intérieur d'un bâtiment. Les concentrations d'oxydes d'azotes sont en moyenne 20 % supérieures dans un logement quand il est exposé à un grand axe routier. En outre, il existe des sources internes de polluants.

Habiter en hauteur permet tout de même d'échapper (un peu) aux polluants automobiles, dont les concentrations sont presque toujours plus élevées près du sol. Les rares mesures font état de 20 % à 50 % de réduction des concentrations entre le sol et le troisième ou le cinquième étage. Les arbres bordant les rues peuvent freiner le transfert des polluants vers le haut des immeubles, mais ils accroissent l'exposition des piétons.

Le meilleur refuge pourrait alors se situer dans les grands espaces verts urbains. On y est en retrait des sources d'émission et le transport des polluants est limité par les arbres. En outre, de nombreux polluants se fixent sur ces derniers. Au centre du parc Montsouris, à Paris, les concentrations moyennes de dioxyde d'azote sont jusqu'à deux fois inférieures à celles mesurées sur la plupart des voies urbaines. ■

Isabelle COLL est maître de conférences à l'Université Paris-Est Créteil.