

Un gaz d'humains

Les foules humaines sont simulées en considérant les hommes comme des particules en interaction.

Quel est le point commun entre le gonflement d'un «airbag», la pollution atmosphérique, la visite d'une exposition et l'évacuation d'un stade de football? Tous ces événements sont simulés par une méthode qui utilise des particules. La Société ArSciMed a mis au point un logiciel qui simule ces phénomènes.

Si les liquides et les gaz sont constitués d'un ensemble d'éléments (atomes, molécules), on ne traite pas leur dynamique en considérant ces éléments. Les simulations de ces systèmes sont généralement macroscopiques : elles n'utilisent pas les propriétés de leurs composants, mais ses caractéristiques fluides. Malheureusement, ces études macroscopiques décrivent mal des situations turbulentes : l'approche microscopique est alors mieux adaptée.

Le principe de la simulation consiste à considérer des ensembles d'éléments auxquels on associe des attributs qui déterminent leur évolution. À la différence des molécules de gaz, les éléments d'une foule humaine possèdent une faculté de décision. Aussi modélise-t-on un flux de piétons en considérant chaque individu comme une particule à laquelle on prescrit des règles de comportement.

L'accélération d'une particule est déterminée par la somme des forces d'interaction entre cette particule et toutes les autres, ajoutée à des forces extérieures. On associe à cet aspect de mécanique classique une loi non déterministe : entre deux pas de temps, les règles d'évolution des trajectoires sont de nature probabiliste. Les transitions entre deux trajectoires peuvent être globales (indépendantes des positions des particules) ou associées à la densité locale des particules.

Dans les réunions publiques, les forces de cohésion entre individus varient entre la faible cohésion des supporters d'une équipe spor-

tive, et celle, importante, d'une famille. Des classes d'individus sont ainsi définies en fonction de leurs comportements, ce qui permet de prendre en compte des foules importantes.

LA SIMULATION DU COMPORTEMENT HUMAIN

Deux types de comportement humain sont traités : les réflexes (c'est-à-dire les réactions immédiates) et les décisions qui résultent d'une analyse de la situation. Le comportement réflexe est un phénomène local dépendant de la densité. Aux faibles densités, le changement de direction entre deux individus est activé à une distance donnée et les collisions sont exceptionnelles. À mesure que la densité croît, la fréquence des collisions augmente et elles peuvent faire interagir plus de deux individus.

La modélisation des décisions humaines dépend d'un ensemble de paramètres comme la destination, la

densité, la durée d'arrêt en un lieu donné, la présence d'obstacles et le but des personnes. Ces paramètres sont représentés par un «champ de décision». Les individus, auxquels on associe un «état de charge», évoluent dans ce champ de décision comme une particule chargée évoluerait dans un champ électromagnétique.

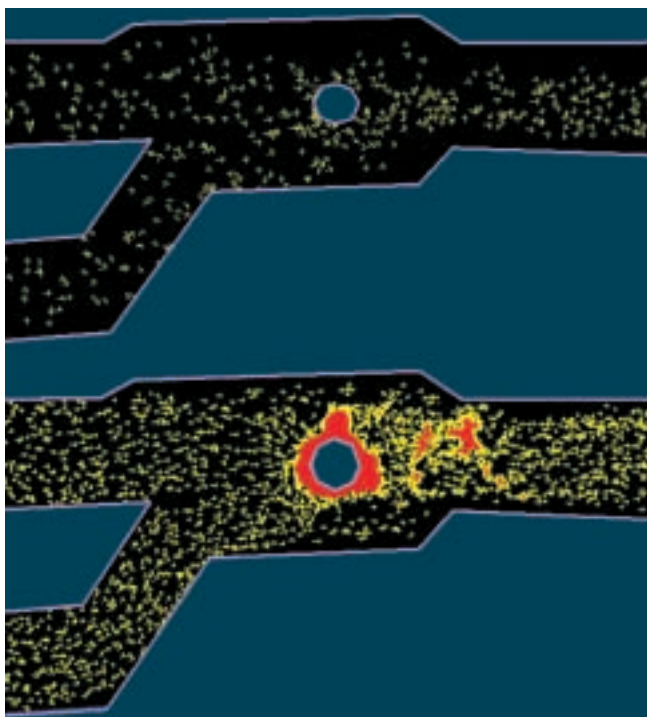
Cette modélisation a été appliquée dans de nombreuses situations allant du simple lèche-vitrines dans un centre commercial à la situation critique de l'évacuation d'une foule nombreuse. On étalonne les paramètres de comportement en appliquant le modèle à des situations connues.

Dans le contexte de l'évacuation de grands bâtiments, les durées d'évacuation sont souvent plus longues que celles obtenues par une approche du type fluide, ce qui s'explique par la complexité du système qui engendre des événements chaotiques. Dans certaines simulations d'évacuations, on aboutit à des situations critiques, comme la formation d'ondes de choc et de pics de densité, alors que l'approche globale conclut à une évacuation fluide.

À l'Université de Warwick, Keith Still simule des foules différemment. En notant, qu'au-dessus d'une densité critique, les foules s'auto-organisent en fonction de la configuration des lieux et en utilisant des lois simples d'évite-

ment des obstacles, il simule des foules importantes (jusqu'à 250 000 individus). Il remarqua que les motifs de foule obtenus possédaient une structure fractale (le même motif se répétait à toutes les échelles), ouvrant des perspectives sur la compréhension des mouvements de foules.

De nombreuses applications de ces simulations sont envisageables comme la conception de gares, d'expositions et de stades. Elles peuvent également servir d'outil pour l'exploitation des infrastructures existantes. Les performances actuelles (100 000 personnes simulées en temps réel) permettent l'aide à la décision lors de grands rassemblements de population : un centre de commande pourvu d'un ordinateur puissant traite des données reçues en direct (par caméra ou image aérienne) pour évaluer les différentes solutions à une catastrophe en cours. □



Simulation d'un flot humain dans un hall d'exposition. Les individus arrivent par le côté gauche, rencontrent un pôle d'intérêt au centre, puis s'en vont vers la droite. En haut, le débit est faible et le déplacement est régulier. En bas, le débit humain est tel que des pics de densité se forment (en rouge) autour du pôle d'intérêt et à l'approche du couloir de sortie, provoquant encombrements et bousculades.

Le parfum sur la peau

On sait pourquoi l'odeur d'un parfum change selon la personne qui le porte.

La perception des odeurs et la performance des parfums sur la peau varient considérablement selon les individus. Cette variabilité préoccupe les industriels de la parfumerie : leurs clients se plaignent que les parfums n'aient pas les effets attendus. Pourquoi un même parfum sent-il différemment selon la peau où il a été déposé ? Peut-on quantifier la persistance et la diffusivité des parfums ? Nous avons mesuré les performances individuelles des matières premières présentes dans une composition parfumée et étudié le comportement des ingrédients du parfum sur la peau.

Une personne qui se parfume ne souhaite pas que le parfum onéreux qu'elle vient d'acheter perde son impact au moment où elle arrive au rendez-vous qu'elle a préparé en se parfumant ! Toutefois les parfumeurs savent que la peau est un substrat complexe, qui diffère selon les individus. Elle est composée de deux couches : le derme

donne à la peau son apparence et son élasticité, protégeant l'organisme contre les dommages physiques ; l'épiderme, composé de quatre sous-couches, protège contre les substances nocives. La peau contient également des glandes sébacées, qui produisent un liquide gras. Au total, sa porosité, son acidité et sa teneur en lipides varient. Ces variations expliquent qu'un parfum qui sent merveilleusement bon sur une personne soit moins agréable sur une autre : les molécules odorantes sont souvent solubles dans les lipides, et elles réagissent de diverses façons avec les acides de la peau.

Afin d'explorer ces différences, nous avons étudié la peau de cinq hommes et sept femmes à divers moments après l'application d'une quantité contrôlée d'un parfum déposé sur les avant-bras (la peau avait été lavée, séchée, nettoyée...). Le parfum utilisé était composé de huit matières premières dans une solution aqueuse à dix pour cent

d'alcool : le cyclohexal, l'héliotropine, le linalol, la vanilline, l'isoraldeïne 95, la pêche pure, le radjanol et l'hédione. On prélevait de l'air à un centimètre et à cinquante centimètres de la peau en l'aspirant à travers un filtre absorbant, puis en désorbant le parfum et en séparant les constituants désorbés par chromatographie.

Pour chaque sujet, nous avons mesuré la composition lipidique de la peau, déterminé le relief de la peau en analysant des répliques d'une parcelle de l'avant-bras (la rugosité résulte de la taille des pores), mesuré le taux d'évaporation de l'eau, ainsi que l'acidité.

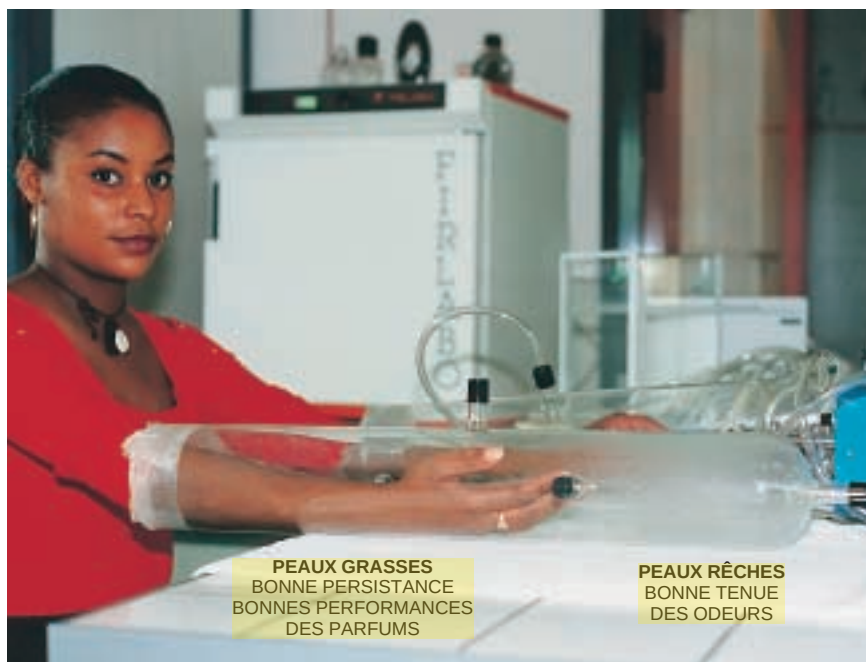
DES PEAUX ET DES PARFUMS

Sur toutes les peaux, nous avons d'abord observé de fortes variations de la «substantivité» (la persistance sur la peau) et de la diffusivité. Ainsi le linalol a une faible substantivité, mais une forte diffusivité, tandis que l'héliotropine a une substantivité moyenne et une faible diffusivité. Les caractéristiques que nous avons mesurées rejoignent les observations des parfumeurs.

Puis nous avons évalué les différences de performances du mélange en fonction des divers types de peaux. Avec l'aide de George Klecak et de Thierry Weber, de la Société *Hoffmann-La Roche*, nous avons établi que la performance d'un parfum ne dépend pas de l'acidité de la peau qui le reçoit. En revanche, à l'exception du linalol, les matières premières appliquées sur deux peaux qui ne diffèrent que par la rugosité ont des comportements distincts : les peaux les plus rêches les libèrent beaucoup plus dans l'air. Dans le cas de la vanilline, la différence est d'un facteur trois. Enfin toutes les matières premières se volatilisent plus pour les personnes ayant une peau grasse, même si cette différence s'atténue avec le temps.

Au total, l'analyse par espace de tête semble une bonne méthode de mesure de la persistance des parfums sur la peau ; elle permet de trouver des réponses à l'une des plus vieilles questions de l'industrie de la parfumerie. Les analyses ne donnent pas de moyen immédiat de faire tenir de la même façon les parfums sur toutes les peaux, mais elles permettront d'ajuster les compositions afin de tenir compte des phénomènes d'évaporation, variables selon les individus.

Ahmet BAYDAR, Emmanuelle COSTANTINO et Marie TONNEAU
Société *Givaudan-Roure*



Appareil de mesure des propriétés des parfums selon la peau des personnes qui les appliquent : l'air parfumé est prélevé près du bras et à distance de lui, à l'extrémité du tube. En surimpression, on a indiqué quelques résultats des analyses effectuées.