



**JEAN CLAUDE
AMEISEN**

**SUR LES
ÉPAULES
DE DARWIN**

**JE T'OFFRIRAI DES
SPECTACLES ADMIRABLES**



ILL
LES LIENS OÙ LIBÉRENT
Extrait de la publication

Sur les épaules de Darwin

Je t'offrirai – à partir de toutes petites choses – des spectacles admirables, chante Virgile.

À partir de ces toutes petites choses – les abeilles – célébrées par Virgile, à partir d'un *presque rien* – un flocon de neige – offert par Kepler, Jean Claude Ameisen nous entraîne dans un vertigineux voyage.

Un voyage à la rencontre des abeilles et de leur extraordinaire alliance avec les fleurs dont dépend notre survie ; des fourmis qui tressent leur fil d'Ariane et découvrent la sortie des labyrinthes ; de l'étrange géométrie des alvéoles et des flocons de neige ; de la course des planètes, comètes et astéroïdes qui scandent nos jours, nos années

– et les millions d'années ; des minuscules horloges biologiques qui battent les heures au cœur de chaque être vivant.

Un voyage à travers l'espace et le temps.

À la découverte de la mystérieuse splendeur de l'univers qui nous entoure et nous a donné naissance.

Jean Claude Ameisen

Jean Claude Ameisen est l'auteur de l'émission de France Inter *Sur les épaules de Darwin* – Grand Prix des Médias CB News 2013, Meilleure émission de radio – et du livre *Sur les épaules de Darwin. Les Battements du temps* (France Inter/LLL, 2012).

<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin>

Médecin-chercheur, il est professeur d'immunologie à l'Université Paris-Diderot, directeur du Centre d'Études du Vivant (Institut des Humanités de Paris – Université Paris Diderot) et président du Comité consultatif national d'éthique.

Les principaux programmes de recherche scientifique qu'il a initiés et animés ont concerné l'origine des phénomènes d'autodestruction cellulaire au cours de l'évolution du vivant et leur rôle dans le développement des maladies. Ses recherches ont donné lieu à plus de cent publications dans des revues scientifiques internationales et ont été distinguées, notamment, par le prix Inserm-Académie des Sciences.

Il est l'auteur de

La Sculpture du vivant. Le suicide cellulaire ou la mort créatrice (Seuil 1999, Points Seuil 2003. Prix Jean Rostand 2000; Prix Biguet 2000 de philosophie de l'Académie française).

Dans la lumière et les ombres. Darwin et le bouleversement du monde (Fayard/Seuil 2008, Points Seuil 2011).

Quand l'art rencontre la science

(avec Yvan Brohard. La Martinière/Inserm 2007).

Les Couleurs de l'oubli (avec François Arnold. L'Atelier 2008).

Sur les épaules de Darwin. Les battements du temps. LLL/France Inter, 2012.



© Photographies : © Jo Whaley pour la couverture/© BianArickx pour la quatrième

ISBN : 979-10-209-0089-0

© France Inter

Les Liens qui Libèrent, 2013

Jean Claude Ameisen

Sur les épaules de Darwin
sur les épaules des géants

Je t'offrirai des spectacles admirables

ÉDITIONS LES LIENS QUI LIBÈRENT
FRANCE INTER

Jean Claude Ameisen est l'auteur de l'émission
Sur les épaules de Darwin (France Inter)
Grand Prix des Médias CB News 2013 dans la
catégorie *Meilleure émission de radio*.

<http://www.franceinter.fr/emission-sur-les-epaules-de-darwin>

À toi, Olivier, mon frère, mon ami,
quelques merveilles d'un monde
que tu as trop tôt quitté

Je t'offrirai, à partir de toutes petites choses, des spectacles admirables.

Virgile, *Géorgiques*.

Le cerveau d'une fourmi est l'un des plus merveilleux atomes de matière dans le monde, peut-être plus encore que le cerveau humain.

Charles Darwin, *La généalogie de l'homme*.

À partir de ce presque Rien – un minuscule atome de neige – j'ai été proche de recréer l'Univers entier, qui contient tout !

Johannes Kepler, *Étrenne ou La neige à six angles*.

Voir un monde dans un grain de sable,
Et un ciel dans une fleur sauvage,
Tenir l'infini dans la paume de ta main,
Et l'éternité dans une heure.

William Blake, *Augures de l'innocence*.

Toute la nature n'est autre que de l'art, qui t'est inconnu,
Tout hasard, une direction que tu ne peux pas voir,
Toute discorde, harmonie incomprise.

Alexander Pope, *Un essai sur l'homme*.

La plus belle expérience que nous puissions faire est celle du mystère – la source de tout vrai art et de toute vraie science.

Albert Einstein, *Le monde tel que je le vois*.

I

À TRAVERS LES LABYRINTHES

Il n'y aura pas de porte. Tu y es
Et le château embrasse l'univers.
Il ne contient ni avers ni revers
Ni mur extérieur ni centre secret.
N'attends pas de la rigueur du chemin
Qui, obstiné, bifurque dans un autre,
Qui, obstiné, bifurque dans un autre,
Qu'il ait de fin. [...]
N'attends rien.

Jorge Luis Borges. *Labyrinthe*.

DÉTISSEZ LES MAILLES DE PIERRE

Le fil qu'Ariane glissa dans la main de Thésée (dans l'autre il tenait l'épée) pour que celui-ci s'enfonce dans le labyrinthe et découvre le centre, l'homme à la tête de taureau ou, comme le veut Dante, le taureau à tête d'homme, et lui donne la mort et puisse, sa prouesse accomplie, détiſser les mailles de pierre et revenir vers elle, vers son amour.

Jorge Luis Borges, *Le fil de la fable*.

On raconte qu'autrefois, dans les hauteurs de la Crète, chante Virgile dans l'Énéide, le Labyrinthe recérait en ses murs aveugles le lacis de ses couloirs et la ruse de ses mille détours, où aucun signe ne permettait de reconnaître son erreur ni de revenir sur ses pas.

Ce Labyrinthe légendaire, le plus célèbres de tous, était-il situé dans le palais de Cnossos, près de la ville d'Héraklion, en Crète – dans ce palais dont les ruines, pour partie restaurées, révèlent les splendeurs d'un royaume datant d'il y a plus de quatre mille ans ?

Nul ne le sait.

Mais ce que dit la légende, c'est que Pasiphaé, la femme de Minos, le roi de Crète, donna un jour naissance au Minotaure – un être à moitié homme, à moitié taureau – qui dévorait de jeunes garçons et de jeunes filles.

Le roi Minos demanda à Dédale, grand inventeur, de construire pour le Minotaure un palais dont il ne pourrait s'échapper.

Et Dédale construisit le Labyrinthe, *le palais aux inextricables détours*, dit Virgile.

Un palais à ciel ouvert, dont l'enchevêtrement des couloirs et des escaliers rendait impossible, une fois qu'on y avait pénétré, d'en découvrir la sortie.

Pour venger la mort de l'un de ses enfants qui y avait été tué, le roi Minos, ayant conquis la ville d'Athènes, avait imposé à ses habitants un terrible tribut : *Chaque année*, dit Virgile, *sept de leurs fils, tirés au sort*, étaient menés en Crète pour être livrés au Minotaure.

Un jour, le héros Thésée, le fils d'Égée, roi d'Athènes, partit pour la Crète tuer le Minotaure.

Et lorsque Thésée, grâce à l'aide de Dédale, réussit à sortir du *palais aux inextricables détours* après avoir tué le Minotaure, le roi Minos, furieux, fait enfermer Dédale avec son fils, Icare, dans le Labyrinthe.

Incapable de trouver la sortie du palais qu'il avait lui-même construit, Dédale réalise que le chemin le plus court, le seul chemin qu'ils pourraient emprunter, serait de s'échapper par le haut, à travers les airs – à condition de pouvoir s'envoler.

Avec des plumes d'oiseaux et de la cire – il est l'inventeur de la colle –, il fabrique des ailes. Avant de s'envoler, Dédale recommande à son fils de ne pas s'approcher du Soleil qui ferait fondre la cire.

Mais Icare, tout à sa joie de voler, désobéit.

Ses ailes se défont, il tombe dans la mer.

Et cette tragédie interrompra, pour un temps, le désir de Dédale de poursuivre une succession d'inventions suivies de désastres.

La naissance même du Minotaure – le début de cette longue série de catastrophes – était déjà due à l'une de ses inventions. Le dieu de la mer, Poséidon, avait, pour se venger du roi Minos, rendu Pasiphaé, sa femme, folle d'amour pour le taureau sacré qu'il avait fait surgir de la mer sur les rivages de Crète.

Et c'est Dédale qui avait inventé le dispositif qui avait permis à la reine et au taureau sacré de s'unir, donnant naissance au Minotaure.

En 1923, dans une conférence intitulée *Dédale ou la science et le futur*, le grand généticien John Haldane évoque les problèmes humains, éthiques et sociaux créés par les avancées de la science et de la technologie.

Les chercheurs et les inventeurs, dit-il, pensent toujours, comme Dédale, que les problèmes causés par leurs inventions pourront être résolus par de nouvelles découvertes et de nouvelles inventions.

À la métaphore habituellement proposée d'une science et d'une technique transgressant l'ordre de l'univers – l'image de Prométhée dérobant le feu aux dieux de l'Olympe pour le donner aux hommes – John Haldane oppose la métaphore de Dédale, qui est, pour lui, le prototype du scientifique et du technicien créatif mais inconscient et irresponsable. Et François Jacob reprendra, soixante-quinze ans plus tard, le mythe de Dédale comme métaphore d'un mal de notre époque, disant : *en Dédale se profile la science sans conscience*.

Thésée avait été le premier à parvenir à s'échapper du Labyrinthe.

Lorsque Thésée avait débarqué en Crète, Ariane, la fille du roi Minos et de Pasiphaé, était tombée amoureuse de lui.

Et c'est Dédale qui avait donné à Ariane la solution, le moyen qui permettrait à son amant de ressortir du Labyrinthe – une bobine de fil.

Comme le Petit Poucet sèmera ses cailloux blancs pour retrouver le chemin de sa maison, Thésée déroule le fil à mesure qu'il s'enfonce dans le Labyrinthe, puis, une fois qu'il a découvert et tué le Minotaure, il revient sur ses pas en suivant le fil, le rebobinant à mesure qu'il retrace son chemin vers la sortie.

Et il s'enfuit de Crète avec Ariane.

Mais, dit Borges dans *Le fil de la fable*, *Thésée ne pouvait savoir que, de l'autre côté du labyrinthe, se trouvait l'autre labyrinthe, celui du temps.*

Le fil que la main d'Ariane glissa dans la main de Thésée, dit Borges,

Le fil s'est perdu ; le labyrinthe s'est perdu, lui aussi.

À présent nous ne savons même plus si c'est un labyrinthe qui nous entoure, un secret cosmos ou un chaos hasardeux. La beauté de notre devoir est d'imaginer qu'il y a un labyrinthe et un fil.

Nous ne trouverons jamais le fil ; peut-être le trouvons-nous et le perdons-nous dans un acte de foi, dans une cadence, dans le rêve, dans les mots que l'on nomme philosophie ou dans le pur et simple bonheur.

Borges était fasciné par les labyrinthes.

Je sentais que le monde était un labyrinthe d'où il était impossible de s'enfuir, dit un personnage de l'une de ses nouvelles, La mort et la boussole.

Trouver la sortie d'un labyrinthe. Pouvoir *détisser les mailles de pierre.*

Le labyrinthe est une variante très particulière d'un problème classique – celui du plus court chemin entre deux points.

Dans un labyrinthe, le chemin le plus court vers la sortie est, tout simplement, celui qui permet de sortir.

Les autres chemins sont démesurément longs, indéfiniment longs.

Quel est le chemin le plus court entre deux points ?

Dans un espace vide, où n'existe aucune contrainte, c'est le segment d'une droite qui relie ces deux points.

Mais dans le monde réel, dans la nature, et dans les mondes artificiels que nous construisons – ceux des réseaux des routes, des réseaux ferroviaires, des réseaux de communication – le chemin le plus court entre deux points dépend des contraintes de l'environnement, des obstacles et des capacités de déplacement de l'entité qui voyage.

Dans le monde virtuel du jeu d'échecs – comme le découvrira Alice au pays des merveilles, dans *De l'autre côté du miroir* lorsqu'elle deviendra une pièce d'un jeu d'échecs – le chemin le plus court entre deux cases n'est pas le même pour une reine, un fou, un cavalier, une tour ou un roi.

Le plus court chemin est le plus court parmi ceux qui peuvent être effectivement empruntés.

Mais comment découvrir, parmi tous les chemins possibles, celui qui conduit à la sortie d'un labyrinthe ?

C'est un problème que les mathématiciens et les informaticiens essaient depuis longtemps de résoudre à l'aide d'algorithmes, ces suites d'opérations logiques, ces successions d'étapes logiques qui constituent la meilleure façon de procéder pour trouver une solution.

Non seulement pour réussir à s'échapper de labyrinthes virtuels, mais pour identifier le plus court chemin entre deux points – entre l'entrée et la sortie d'un labyrinthe.

Comment connecter de la manière la plus rapide les communications téléphoniques à travers des réseaux enchevêtrés de câbles ou d'ondes ? Comment régler de la manière la plus efficace des problèmes de circulation routière ? Comment construire des machines complexes, à partir de composants et d'assemblages différents dans des lieux distincts, en réduisant le temps et le coût de la construction ou l'importance de la pollution créée par les transports ? Comment adresser des informations de la manière la plus rapide possible à travers des réseaux internet qui se reconfigurent en permanence ?

Ces problèmes deviennent de plus en plus difficiles à résoudre à mesure qu'augmentent la taille et le degré de ramification des réseaux.

Mais, très longtemps avant que les mathématiciens puis les informaticiens commencent à les aborder, d'innombrables êtres vivants, appartenant à d'innombrables espèces, ont été confrontés à ces problèmes du plus court chemin entre deux points dans des environnements contraints, complexes et changeants.

Et, pour ces êtres, depuis des centaines de millions d'années, trouver le chemin d'un point à un autre, et trouver le plus court chemin, s'est traduit en termes d'économie d'énergie – et, souvent, en termes de vie ou de mort – quand il s'agit de trouver ou d'exploiter des ressources nutritives rares, éphémères, dans un contexte de compétition avec d'autres êtres, ou lorsqu'il s'agit de revenir à son domicile ou de migrer vers des territoires plus accueillants.

Dans de très nombreuses espèces, ces capacités à résoudre le problème du plus court chemin ont fait l'objet d'une longue évolution, et ont été progressivement optimisées, de génération en génération.

Parmi ces nombreux êtres vivants, ceux qui ont découvert des solutions particulièrement surprenantes sont des insectes sociaux qui appartiennent à l'ordre des *Hyménoptères* – les abeilles et les fourmis.

L'histoire écologique des fourmis à travers les temps géologiques, qui culmine aujourd'hui autour de nous avec une profusion de créatures sociales complexes, doit être considérée comme l'une des grandes épopées de l'évolution du vivant, écrivaient Edward Wilson et Bert Hölldobler en 2005.

Cela fait cent dix à cent soixante millions d'années que les premiers ancêtres des fourmis ont émergé, donnant naissance à de très nombreuses familles dont les quatre grandes familles qui survivent aujourd'hui. Initialement rares, les fourmis se sont propagées et diversifiées à mesure qu'émergeaient les forêts tropicales. Elles y ont occupé d'abord les sols, puis la canopée. Et, de ces forêts tropicales, elles sont parties par vagues successives et se sont répandues à travers le monde – fourmis charpentières, couturières, guerrières, pastorales – éleveuses de troupeaux – ou agricultrices, coupeuses de feuilles...

Les plus anciens fossiles de fourmis datent d'il y a environ cent millions d'années. Ils ont été découverts en France et en Birmanie. Puis, en 2010, en Éthiopie – dans neuf morceaux d'ambre, dont un de plus d'un kilo.

Les fourmis ont inventé le génie civil, la construction des ponts et des radeaux, elles ont inventé la couture, le tissage, elles ont inventé l'élevage, une forme d'interaction étroite mutuellement bénéfique avec d'autres insectes – elles sont les gardiennes de troupeaux qui produisent la rosée de miel dont elles se nourrissent, elles les protègent de leurs prédateurs.

Certaines fourmis qui avaient envahi la canopée sont devenues les gardiennes de leur royaume, les gardiennes des

arbres. Les arbres avec lesquels elles vivent en symbiose leur fournissent un abri et une nourriture spéciale, et les fourmis protègent les arbres de leurs prédateurs.

Et d'autres espèces de fourmis de la tribu des *Attini* ont inventé l'agriculture, il y a soixante à cinquante millions d'années – elles cultivent des jardins de champignons à l'intérieur de leurs fourmilières.

Depuis une vingtaine d'années, des chercheurs en informatique s'inspirent des réalisations collectives remarquables de certaines colonies de fourmis.

Ce qui a causé l'intérêt des chercheurs, c'est la capacité des colonies de fourmis à faire émerger des solutions globales, optimales, en l'absence de tout système de contrôle central, à partir d'une succession d'interactions élémentaires entre des individus qui ne disposent chacun que d'informations locales.

Les algorithmes que les chercheurs ont élaborés – et qui ont été nommés *modèles d'optimisation par colonies de fourmis* – répandent dans des réseaux virtuels des colonies de *fourmis virtuelles* qui explorent tous les chemins possibles entre deux points particuliers du réseau.

Et ces colonies de *fourmis virtuelles* découvrent le chemin le plus court entre ces deux points.

Les *fourmis virtuelles* inventées par les informaticiens imitent les véritables fourmis ouvrières qui sortent pour la première fois de leur fourmilière à la recherche de nourriture. Elles explorent leur territoire au hasard en laissant échapper au long du chemin des phéromones – des molécules odorantes – qui recrutent les fourmis voisines sur ce chemin.

Parce que les phéromones s'évaporent rapidement, plus le chemin suivi par ces fourmis entre la fourmilière et le lieu de récolte est court – plus le trajet est rapide – et moins vite les

phéromones qui ont été répandues sur ce chemin s'évaporent, et plus le chemin devient balisé de phéromones.

Progressivement, la voie la plus courte est de plus en plus empreinte de phéromones, et recrute, par conséquent, un nombre de plus en plus grand de fourmis.

Et, assez rapidement, la seule voie empruntée par toutes les fourmis sera ce chemin, le plus court.

Pour imiter les véritables fourmis, les informaticiens font *répandre* par leurs *fourmis virtuelles* des *phéromones* volatiles *virtuelles*.

Et, comme les véritables fourmis, les fourmis virtuelles finissent rapidement par emprunter toutes le plus court chemin entre deux points.

Ces algorithmes développés à partir des connaissances fondées sur le comportement réel de certaines familles de fourmis permettent de trouver de manière rapide et effective des solutions au problème du plus court chemin entre deux points à l'intérieur de réseaux statiques qui ne se modifient pas.

Mais ils opèrent très mal à l'intérieur de réseaux qui se modifient, qui se reconfigurent – où certains chemins disparaissent ou sont bloqués –, les réseaux dynamiques. Or la plupart des réseaux pour lesquels ces algorithmes seraient le plus utiles sont des réseaux dynamiques...

Dans la nature, pour les êtres vivants, le problème du plus court chemin se pose le plus souvent dans des environnements dynamiques qui se transforment.

Mais les fourmis – les véritables fourmis, que les fourmis virtuelles des informaticiens tentent d'imiter – de quelle manière résolvent-elles le problème du plus court chemin dans un environnement dynamique, complexe et changeant ?

C'est la question qu'a posée une équipe de chercheurs regroupant des biologistes spécialistes du comportement des fourmis et des chercheurs en mathématique. Ils ont publié leur étude en 2011 dans le *Journal of Experimental Biology*.

Les chercheurs ont construit un labyrinthe et ont d'abord exploré si des colonies de fourmis réelles étaient capables de découvrir rapidement la sortie de ce labyrinthe – et de trouver le chemin le plus court vers la sortie.

Ils ont exploré, durant une année, les capacités de soixante colonies de fourmis d'Argentine, de la famille *Linepithema humile*, à résoudre ce problème. Les fourmis d'Argentine sont de redoutables conquérantes qui se sont répandues à travers le monde en envahissant les territoires où elles ont migré, exploitant les ressources aux dépens de celles qui vivent dans ces régions.

Parmi les soixante colonies étudiées, trente étaient composées, chacune, de cinq cents ouvrières et d'une reine; et trente étaient composées, chacune, de mille ouvrières et de deux reines.

Le labyrinthe – à ciel ouvert pour permettre l'évaporation des phéromones déposées par les fourmis – avait pour base une projection en deux dimensions d'un casse-tête appelé les *Tours d'Hanoï*.

Le labyrinthe comporte trente-deux mille sept cent soixante-huit chemins différents possibles entre l'entrée et la sortie – sans compter les innombrables trajets que l'on peut suivre si l'on revient sur ses pas.

Parmi tous ces chemins, il y en a deux qui sont les plus courts entre l'entrée et la sortie.

Les chercheurs ont placé l'entrée du labyrinthe à l'entrée de la fourmilière, et, à l'extrémité opposée, distante d'un mètre – la sortie – ils ont déposé une source de nourriture.

Thésée n'avait pas *découvert* la sortie du Labyrinthe. Il était simplement revenu sur ses pas, en suivant le fil d'Ariane, jusqu'à la porte par laquelle il était entré. Et ce n'était pas le chemin le plus court vers la sortie qu'il avait emprunté, mais celui qu'il avait suivi, de détours en détours, jusqu'au Minotaure, en s'enfonçant dans le palais.

Contrairement à Thésée, les fourmis qui s'engagent dans le labyrinthe doivent résoudre un problème plus complexe que de revenir sur leurs pas.

Et, contrairement à Thésée, elles ne disposent d'aucun fil d'Ariane.

Le fil qu'elles suivent, ce sont elles qui le tressent. Il est invisible et éphémère, volatile – il est fait des phéromones, les odeurs qu'elles déposent sur leur chemin.

Et au début, il n'y a pas *un* fil, mais un enchevêtrement de fils qui s'évaporent et renaissent et s'évaporent. Puis, progressivement, il n'en persiste qu'un seul.

Et ce fil ne fait pas qu'indiquer la sortie.

Il indique l'un des deux plus courts chemins entre l'entrée et cette sortie du labyrinthe.

Au bout d'une heure, 93 % des soixante colonies que les chercheurs étudiaient avaient découvert l'un des deux chemins les plus courts entre l'entrée et la sortie du labyrinthe, et l'empruntaient dans les deux sens, pour aller chercher la nourriture et pour la rapporter à la fourmilière.

Alors les chercheurs ont décidé d'explorer les capacités de ces fourmis à résoudre le problème que les fourmis virtuelles des informaticiens n'arrivaient pas à résoudre :

découvrir rapidement un nouveau plus court chemin lorsque le réseau du labyrinthe a soudain été modifié.

Les chercheurs ont recommencé l'expérience, en introduisant une difficulté supplémentaire.

Au bout d'une heure – une fois que les fourmis avaient découvert l'un des deux plus courts chemins entre l'entrée et la sortie du labyrinthe – les chercheurs ont bloqué, au milieu du labyrinthe, deux des couloirs qui faisaient partie des deux plus courts chemins entre l'entrée et la sortie.

Lorsqu'on bloque à un endroit donné le plus court chemin qu'elles ont trouvé, les fourmis *virtuelles* des informaticiens se mettent à suivre le chemin libre qui est le plus balisé par les phéromones *virtuelles*. Or le chemin le plus balisé est celui qu'elles viennent de parcourir... et ce chemin les reconduit directement au point d'où elles étaient parties – l'entrée du labyrinthe.

Les *fourmis virtuelles* rebrousse donc chemin et, à peine revenues à leur point de départ, reprennent à nouveau le chemin qui est le plus balisé... qui est celui qu'elles viennent d'emprunter... et elles se retrouvent donc bloquées sur le lieu qui a été bloqué par les chercheurs.

Et, ainsi, pendant longtemps, elles vont aller et venir, oscillant entre leur point de départ et le lieu du blocage, perdant beaucoup de temps avant, éventuellement, de tout recommencer à zéro et de rechercher un nouveau chemin entre les deux points du réseau qu'elles avaient réussi à relier avant le blocage.

Mais ce n'est pas le cas des colonies de fourmis d'Argentine *Linepithema humile*.

Une fois que les chercheurs avaient interrompu les deux chemins les plus courts de leur labyrinthe, parmi les trente-deux mille sept cent soixante-six chemins restants, il y en avait quatre qui étaient les plus courts entre l'entrée et la sortie.

Au bout de dix minutes, un quart des colonies avaient découvert l'un de ces quatre chemins les plus courts et l'utilisaient. Et, au bout d'une heure, toutes les colonies s'activaient à aller chercher la nourriture et à la rapporter à la fourmilière en utilisant l'un des quatre chemins les plus courts entre ces deux points.

Contrairement aux *fourmis virtuelles* qui n'en sont encore qu'une pâle imitation, les fourmis d'Argentine ne rebrousse pas chemin vers leur point de départ au long des routes les plus marquées lorsque le plus court chemin est bloqué.

Elles délaissent le chemin le plus balisé devenu inutile, se mettent à changer de direction, explorant les couloirs voisins du couloir bloqué, faisant dans certains cas une série de changements successifs de directions de cent quatre-vingts degrés. Elles ont gardé en mémoire les directions dans laquelle se trouvaient la nourriture et la fourmilière.

Elles explorent d'autres chemins qui vont dans la direction de la nourriture et de la fourmilière et, rapidement, parmi ces chemins qu'elles ont explorés, elles découvrent le plus court. Et bientôt, toutes l'empruntent.

Elles s'adaptent de manière dynamique à des environnements changeants. Elles ne demeurent pas prisonnières des solutions optimales qu'elles ont initialement découvertes.

Ces recherches soulignent l'intérêt des approches transdisciplinaires entre biologistes, mathématiciens et informaticiens. Et cette transdisciplinarité peut à la fois révéler des capacités jusque-là inconnues dans le monde vivant et être, pour les mathématiciens et les informaticiens, une source d'inspiration dans leur recherche de nouveaux algorithmes susceptibles de résoudre dans différents domaines des problèmes que le monde vivant a réussi à résoudre il y a très longtemps.