



BORIS BURLE
burle@Inf.CNRS-MRS.fr
LABORATOIRE DE LA NEUROBIOLOGIE DE LA COGNITION
CNRS ET UNIVERSITÉ DE PROVENCE, MARSEILLE

ANDRAS SEMJEN
SEMJEN@Inf.CNRS-MRS.fr
UMR PERCEPTION ET MOUVEMENT
UNIVERSITÉ DE LA MÉDITERRANÉE – CNRS, MARSEILLE



L'ORDINATEUR DANS LES SCIENCES DU COMPORTEMENT: *Outil ou Modèle?*

GERTRUDE, SIMONE, ET LA STATION

Il fallait bien leur donner des noms, à ces compagnes de tous les jours, moins pour reconnaître leur dévotion, que pour mieux se souvenir, qui fait quoi. Bien que les tâches aient été, de toutes façons, assez strictement établies. Question d'affinité, sans doute, Gertrude et Simone n'ont jamais voulu se séparer du DOS, alors, elles gardent leur style un peu désuet, mais si réconfortant, dans ce monde instable. La Station, elle, est beaucoup plus dans l'air du temps, mais justement, pour combien de temps encore? Certes, nous n'aimerions pas la voir disparaître de sitôt. Le problème, cependant, c'est que – quand on est *ordinateur* – on a l'âge de son processeur, et cela vieillit si vite...

Vous la trouvez peut-être excessive, notre tendresse à l'égard de ces êtres bizarres, notre propension à les considérer avec respect; notre confiance dans leur dévouement, dans leur capacité de travail. Mais comment pourrions-nous faire autrement? Après tout, s'il fallait que nous fassions nous-mêmes tout ce qu'ils font pour nous, jour après jour, et même de nuit comme de jour, que deviendrions nous? Puis, on nous a assez dit que, d'une certaine manière, ils participent de *l'intelligence*, et à ce titre, nous sommes cousins, en quelque sorte. Alors, où est le mal à leur donner des noms?

Notre inquiétude vient d'ailleurs. Parce qu'il y a une inquiétude. Nous voyons très bien ce que c'est que de vivre tous les jours, ici, dans notre laboratoire, avec Simone, Gertrude, et la Station. En surface tout est clair et net. Nous devons résoudre un certain nombre de problèmes (on appelle cela, semble-t-il, *conduire un programme de recherche*), et ces trois là nous aident. Mais le fait que nous formons un groupe, elles et nous, n'est peut-être pas sans incidence sur la manière dont nous abordons nos problèmes, ou même, dont nous les identifions. Cette cohabitation de tous les jours, n'est-elle pas de nature à changer nos mentalités, nos façons de voir, nos ambitions, et ce que nous pouvons considérer comme des satisfactions dans notre travail? Quel est ce changement? Est-il seulement quantitatif (*faire plus de choses en moins de temps*), ou aussi qualitatif, propre à modifier la nature même de notre objet d'étude? Peut-on évaluer l'impact, positif ou négatif, d'un tel changement?

PUISSANCE

Gertrude, Simone, et les autres ! Comment ferions-nous sans vous pour acquérir, stocker, trier, analyser, récupérer les *données* par milliers? D'ailleurs, quelles seraient nos *données* si vous n'étiez pas là?

Tempérons, un instant, notre enthousiasme: d'un certain point de vue, l'ordinateur n'est pas très différent d'une pioche ou d'une machine à vapeur; là où l'outil manuel prolonge et amplifie l'activité de nos muscles, l'ordinateur aide et amplifie *l'activité de traitement* de notre cerveau. Ayons bon espoir que notre travail de chercheur, tout dédié au cerveau, n'en sera que plus fructueux!

Vers la fin des années 60, l'un de nous deux (AS) était fasciné par la rapidité avec laquelle un geste d'atteinte manuelle (son *programme moteur!* pour tout dire) pouvait être amendé, lorsque la cible à atteindre s'écartait subitement vers une position plus lointaine ou plus proche, par rapport à la position initialement visée, et par la difficulté de tenir compte de ce genre d'imprévu si, au lieu de changer l'amplitude du mouvement, il fallait en changer la direction. Les *données* – la photographie de spots lumineux se déplaçant sur un écran d'oscilloscope – remplissaient des dizaines, des centaines de mètres de bandes de papier photosensible, joie des enfants – une fois l'enregistrement dépouillé. A la main ! Avec une résolution temporelle de 20 ms, et au prix d'angoisses terribles en face de la difficulté à déterminer, souvent, le début de la *réponse* – le déplacement du spot lumineux. Aujourd'hui, Gertrude serait rouge de honte si nous ne traitions pas

les dérivées, première et seconde, de ces signaux. Pic de vitesse, pic d'accélération, négative et positive, bien sûr. Leurs latences respectives, s'il vous plaît! Avec Gertrude (et Simone et les autres) dans le dos, aujourd'hui nous ne pourrions concevoir cette expérience autrement, comme nous ne pourrions imaginer de nous contenter de moins de 100 essais par situation – les économistes diraient qu'un marché de l'offre s'est substitué à un marché de la demande. Et d'autres diraient, enfin! l'imagination est au pouvoir. On ne se sent plus bridé. On ose!

On ose, parce qu'il y a la vitesse et la puissance de calcul. Parce qu'il y a la capacité de stockage. On fait de l'électroencéphalogramme? Doublons, quadruplons le nombre des électrodes, resserrons le maillage! Si la définition spatiale du signal, si la localisation des sources, y gagnent en précision, pourquoi pas? Pourvu que le maillage des hypothèses suive. Car quatre fois plus d'électrodes ne multiplie pas nécessairement d'autant l'intérêt de la recherche. Nous le savons bien, là où la *pénurie* (de moyens) nous obligeait à penser longuement les protocoles expérimentaux afin de sélectionner les questions et les indices les plus pertinents, l'*opulence* tend à renvoyer au second plan les questionnements. Cette *illusion de la technique*, au détriment des idées, s'impose insidieusement dans notre travail, et se pose bien souvent en norme dans la recherche. La *qualité* d'une recherche sera ainsi évaluée sur la quantité de technique investie, au détriment du seul critère qui devrait prévaloir, l'intérêt des questions auxquelles elle permet de répondre.

Souplesse, Partenariat, et Compétition

Gertrude, Simone, et les autres prennent en charge de collecter les données qui nous permettent d'analyser, peut-être de comprendre, le comportement - la psychologie - de nos *sujets*, c'est à dire ces personnes disponibles et bénévoles qui consentent à participer à nos expériences. Mais il ne s'agit pas simplement d'en collecter beaucoup. Le plus possible! Il faut les collecter en souplesse, en finesse, au bon moment, en bon nombre, bref, à bon escient. En établissant avec le sujet un véritable partenariat, une sorte de jeu à deux, en lui posant les bonnes questions, en fonction des *réponses* obtenues. Nous voulons savoir de combien il faut augmenter l'intensité d'un spot lumineux pour qu'un observateur réponde, une fois sur deux, *c'est plus brillant?* Jadis, pour déterminer ce *seuil différentiel*, on aurait présenté, en ordre *ascendant*, puis *descendant*, une large gamme de *stimuli* prédéterminés, toujours les mêmes, allant du beaucoup plus faible que le stimulus de comparaison, au beaucoup plus fort. Mais Gertrude joue le jeu de la *cage d'escalier* avec le sujet: lorsque celui-ci répond *plus brillant*, elle présente, au coup d'après, un spot moins brillant, et si la réponse est toujours *plus brillant*, elle continue de la sorte, mais si la réponse est *moins brillant*, elle renverse la vapeur, et présente un spot plus brillant, et ainsi de suite, jusqu'à ce qu'on décide que le jeu est terminé, suffisamment de données ayant été collectées pour déterminer le seuil (cf. Cornsweet, 1962).

Gertrude (ou Simone, ou la Station) nous aide à gérer les expériences, à *mettre à la question* nos sujets – si nécessaire, mais gentiment, bien sûr. Rien à voir avec la compétitivité farouche de DEEP BLUE (200'000'000 opérations par seconde) qui ambitionne de battre les meilleurs joueurs d'échecs au monde! Il est vrai que pour cela il touche des honoraires qui n'ont rien à voir avec ce que nous pouvons offrir comme indemnité à nos collaboratrices. Lesquelles, cependant, peuvent faire mieux, le cas échéant, que de se constituer en tandem avec le sujet. Il arrive même qu'elles les remplacent pour de bon, comme l'histoire ci-dessous le montre.

Un outil pour tester des idées

Pour bien comprendre cette histoire, il faut que vous acceptiez de vous prêter vous-même à une petite expérience. Asseyez-vous devant une table, posez vos index dessus, et tracez des cercles simultanément avec les deux index, dans le sens horaire avec la main droite, et dans le sens anti-horaire avec la main gauche. Dans cet arrangement symétrique, les mouvements sont aisés à exécuter, même lorsque progressivement vous accélérez le tempo. Maintenant, recommencez le traçage de cercles, assez lentement, et de telle sorte que cette fois-ci les deux mains tournent dans le sens horaire. D'abord, tout se passe bien. Mais si, dans cet arrangement asymétrique, vous essayez d'accélérer le mouvement, il arrive un moment où les deux mains se désynchronisent, et pis, la main gauche (pour les sujets droitiers) *s'affole*, quitte la trajectoire circulaire pour couper l'espace en diagonale, faire des triangles, des patates, des bouclettes (fig. 1 – sujet humain), il lui arrive même de renverser le sens du mouvement, et tout ceci à votre plus grand étonnement. *Mais alors, qui commande à ma main gauche?* – demanderiez-vous. Et voici la réponse qui a été donnée (Cattaert, Semjen, & Summers, 1999):

C'est votre main droite, en partie tout au moins. Votre cerveau envoie des commandes appropriées aux deux mains de manière à ce qu'elles fassent les mouvements circulaires voulus. Ces commandes régissent, en fait, pour chaque main, des oscillations couplées, dans le plan para-sagittal (axe des Y) et dans le plan transverse (axe des X). Imaginons que, de chaque commande envoyée vers la main dominante (main droite pour les droitiers), une copie atténuée est aussi envoyée vers la main non dominante. Trop faibles pour produire des mouvements observables, ces commandes *fantômes* correspondraient en fait à des mouvements *en miroir* par rapport à ceux de la main dominante, et ne poseraient aucun problème lorsque la tâche consiste à tracer des cercles en miroir (arrangement symétrique). Cependant, elles deviendraient gênantes lorsque la tâche consiste à effectuer les mouvements de façon asymétrique, et ceci d'autant plus que la fréquence des mouvements est plus élevée, car l'intensité du signal *copie*, et donc sa capacité de nuisance, serait d'autant plus grande que l'intensité de la commande principale est elle-même *plus grande*.

Personne ne savait si ces idées étaient justes, mais étaient-elles au moins plausibles? Gertrude a aimablement accepté qu'on lui confie l'exécution d'un *algorithme* qui développe ce modèle, et s'est substituée pour quelque temps à nos sujets. Nous ne savons pas si ceux-ci fonctionnent vraiment comme le modèle le prédit, mais nous savons que Gertrude s'y est entièrement conformée. Elle s'est trouvée parfaitement à l'aise à tracer des cercles en miroir, et fort contrariée à tracer des cercles de façon asymétrique, surtout lorsqu'il fallait le faire en allant de plus en plus vite (fig. 1 - Gertrude). Les expériences avec Gertrude ont aussi révélé des choses intéressantes sur les effets de poids attachés aux bras pendant le traçage de cercles, ou encore de l'augmentation de la viscosité du système (comme si l'on traçait des cercles dans un bocal rempli de lentilles, plutôt que sur la surface lisse de la table). On pourra étudier ultérieurement le comportement des sujets *humains* dans ces situations, quand ils reviendront dans le box expérimental. En attendant, le modèle semble viable, même si aucune preuve formelle de sa justesse n'a été apportée.

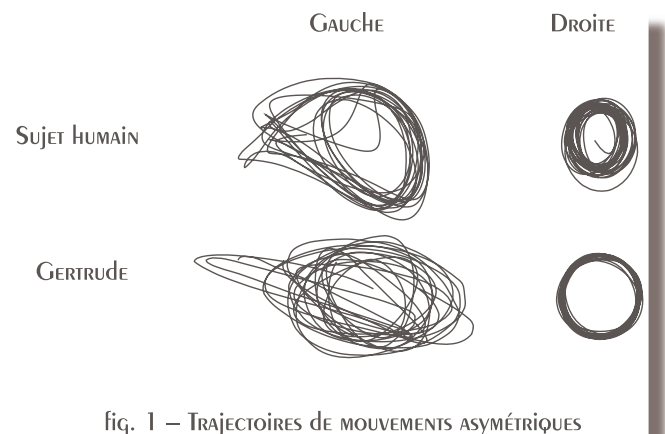


fig. 1 – TRAJECTOIRES DE MOUVEMENTS ASYMÉTRIQUES

JEUX DE MIROIR

Le cerveau humain est le plus extraordinaire ordinateur qui ait jamais existé au monde. Nous n'avons pas la citation exacte, mais cette phrase a été prononcée, écrite, popularisée de nombreuses fois. Fulgurance de la métaphore: les deux termes de la comparaison glissent l'un sur l'autre. L'objet manufacturé promet ainsi une *explication* facile et sans appel du fonctionnement de l'objet naturel et par là, du fonctionnement de *l'esprit* dont ce dernier est *l'organe*. Le raccourci décourage questions et dubitation: puisqu'on connaît les principes sur lesquels repose le fonctionnement de l'ordinateur (*hardware* et *software*, carapace et programme), on sait tout l'essentiel de l'esprit humain, tout au moins dans ses activités les plus noblement abstraites: acquérir, stocker, récupérer, transformer des symboles, selon des règles formelles bien définies. Mais qu'en serait-il de cette croyance si, dès le départ, on avait proposé la métaphore inverse: *Le plus parfait des ordinateurs n'est jamais qu'une ébauche de cerveau humain?* En adoptant une telle perspective, on se serait moins laissé fasciner par l'incontestable habileté que montre l'ordinateur aux jeux de la syntaxe, habileté qui masque si souvent ses hésitations et ses maladroites dans le domaine de la sémantique. Et on ne se serait pas pris dans ce jeu de miroir où l'objet et son image deviennent indifférenciés, l'un expliquant l'autre tour à tour, les ordinateurs étant construits de telle sorte qu'ils puissent simuler les activités de l'esprit, et les modèles de l'esprit devenant des *implémentations* de notre façon de faire des ordinateurs, avec leurs entrées et sorties, registres et adresses, mémoires tampons, mémoires de travail et mémoires à long terme, leurs processus d'accès, sériel ou direct, leurs processus de traitement, localisés, centralisés, ou distribués, leur *timing* régi par une horloge ou par la durée de l'opération la plus élémentaire. Ainsi, l'ordinateur, dans son architecture et par son fonctionnement, se fait passer pour un modèle du fonctionnement cognitif, doté d'un pouvoir d'explication, alors qu'il n'est, en réalité, que *l'objectivation* de nos efforts pour comprendre l'activité mentale, et des lentes avancées de cette compréhension.

LE MODÈLE EN TANT QU'OUTIL

Qu'une machine construite par l'Homme (Deep Blue, IBM) puisse battre au jeu d'échecs le plus sophistiqué des champions, en dit long sur la compétence de ses constructeurs, en termes d'identification du problème à résoudre et des ressources technologiques à mettre en œuvre. Qu'un observateur extérieur de ces parties soit incapable de décider quels étaient les coups joués par le champion, et quels étaient ceux joués par l'ordinateur, constitue un test réputé identifier la machine comme un agent intelligent (test proposé par Turing, 1950). Une conclusion de cette sorte serait toutefois rejetée en considération du fait que la machine *ne sait pas ce qu'elle fait* (par exemple, elle ne sait pas qu'elle joue aux échecs; Searle, 1980). Plus prosaïquement, les constructeurs de la machine et les commentateurs accrédités reconnaissent que celle-ci gagne grâce aux *brute force methods* – l'extraordinaire rapidité de calcul que rendent possible d'une part, un processeur révolutionnaire et d'autre part, la possibilité de faire dérouler simultanément de très nombreuses opérations. L'approche du champion et celle de la machine sont donc de nature différente: aucun être humain ne peut évaluer 2×10^8 coups à la seconde ! Et le commentateur d'ajouter: «*Chess is far easier than innumerable tasks performed by an infant, such as understanding a simple story, recognizing objects and their relationships, understanding speech, and so forth. For these and nearly all realistic AI problems, the brute force methods in Deep Blue are hopelessly inadequate*». (Stork, 2003).

Il apparaît donc que dans les sciences du comportement, l'ordinateur *n'apporte rien en tant que modèle de l'agent intelligent*.

Est-ce que cela signifie que nos chères compagnes n'auraient rien apporté au développement théorique dans ces disciplines? Gertrude, Simone et la Station ne seraient donc rien d'autre que des outils pour nous? Nous voici bien loin des liens de cousinage que nous avons envisagés au départ! La conclusion serait hâtive et injustifiée. Elles nous ont bien servi dans l'élaboration de nos théories, mais non parce qu'elles sont douées d'une *intelligence* proche de celle de l'humain, mais parce qu'en tant que machine logique, elles ne supportent aucune approximation. Pouvoir implémenter une conception théorique, un *modèle*, sur un ordinateur ne garantit certes pas que le modèle est correct, mais cela garantit au moins que sa définition et sa mise en forme sont rigoureuses. Ainsi en nous imposant une *objectivation fonctionnelle* de nos modèles et théories concernant la genèse et le contrôle des comportements humains, des plus simples aux plus évolués, l'ordinateur cesse d'être un outil subalterne d'exécution, pour devenir un outil de contrôle de la rigueur de notre démarche scientifique. Pour l'heure, il ne faut pas lui en demander davantage.

NOTE

- Boris Burle est chargé de recherche au CNRS. Thèmes de recherche: architecture cognitive, contrôle d'exécution.
- Andras Semjen est directeur de recherche au CNRS. Thèmes de recherche: contrôle temporel et coordination des mouvements manuels.
- Les auteurs remercient D. Cattaert pour la mise à disposition du programme de simulation à l'origine de la fig.1.

RÉFÉRENCES

- Cattaert D., Semjen A., Summers J.J.(1999). *Simulating a neural cross-talk model for between-hand interference during bimanual circle drawing*. Biological Cybernetics, 81, 343-358.
- Cornsweet T.N.(1962). *The staircase method in psychophysics*. American Journal of Psychology, 75, 485-493.
- Searle J.R. (1980). *Minds, brains, and programs*. The Behavioral and Brain Sciences, 3, 417-457.
- Stork D.G. (2001). *Hal, Deep Blue, and Kasparov*. Retrouvé le 17/05/2003 sur le World Wide Web (IBM Reserach Deep Blue Overview <http://www.research.ibm.com/deepblue/learn/html/e.8.1.html>).
- Turing A. A. (1950). *Computing machinery and intelligence*. Mind, 59, 433-460. ■

