

CARTE  
BLANCHEExplorer  
la topologie  
algébrique

Par ÉTIENNE GHYS

Un collectif d'une quinzaine de mathématiciens, baptisé Henri Paul de Gervais, vient de mettre en ligne un site Internet intitulé Analysis Situs : Analysis-situs.math.cnrs.fr. Le contenu de ce site ne s'adresse pas aux néophytes mais à des étudiants de master en mathématiques ainsi qu'aux professionnels. Il s'agit d'un exemple de ce que peut apporter Internet à l'enseignement supérieur. On connaît les MOOC, « massive open online courses » en anglais, ou FLOT « formations en ligne ouvertes à tous » en français, mais dans le fond il s'agit encore de cours avec un enseignement linéaire, de la première leçon à la dernière.

Analysis Situs propose une autre approche aux étudiants. Même s'il s'agit de mathématiques, et qu'il faut bien sûr tirer des conclusions à partir d'hypothèses, le site n'est pas organisé de A à Z. Il propose au contraire une grande quantité d'informations, un peu dans le désordre, dans laquelle l'étudiant peut se promener et choisir son propre parcours, selon ses goûts et ses connaissances. Il y a un peu de tout : des textes, des figures, mais aussi de petits films d'animation, des conseils de lecture, des anecdotes, ainsi qu'une trentaine d'heures de cours filmés. L'avenir dira si ce genre d'« objet pédagogique » peut se révéler efficace.

La dénomination vient de l'Analysis Situs, l'ancien nom de la topologie algébrique, qui représente un thème de recherche actif dans les mathématiques contemporaines. Vers 1670, Leibniz est fasciné par les idées de Viète et Descartes qui permettent de traduire des questions de géométrie en formules d'algèbre. Une courbe n'est plus une courbe, mais une équation : c'est le début de la géométrie algébrique. Leibniz rêve de réaliser quelque chose d'analogue avec des formes. Un cercle et un ovale ne sont pas identiques mais ils ont la même forme.

Peut-on manipuler ces choses algébriques ? Au final, Leibniz aura principalement baptisé Analysis Situs cette science qu'il n'est pas parvenu à faire éclore. Il faudra attendre Henri Poincaré qui publiera six mémoires extraordinaires sur le sujet entre 1895 et 1904, fondant ainsi une nouvelle science. L'Analysis Situs utilise des formes simples, comme des sphères, mais aussi des choses plus compliquées comme la bande de Möbius, cette bande de papier qui n'a qu'une seule face, ou la bouteille de Klein qui n'a ni intérieur ni extérieur, ainsi que leurs analogues en dimensions 3, 4, etc.

## Comprendre par l'histoire

Le parcours proposé aux visiteurs de ce site est historique, avec trois entrées : par les œuvres, par les exemples ou par un cours moderne. Il s'agit de revenir aux textes originaux de Poincaré, de les commenter, de dénicher les joyaux – mais aussi les erreurs – et de les expliquer avec des méthodes d'aujourd'hui. Les mathématiques se comprennent mieux à la lumière du développement progressif des idées. Le dernier paragraphe du dernier article de Poincaré sur ces questions se termine par une conjecture dont il dit « qu'elle entraînerait trop loin ». Il avait raison : la conjecture de Poincaré n'a été résolue qu'en 2003, près de cent ans après avoir été posée, en dépit du grand nombre de tentatives infructueuses.

Voici un énoncé simple qui peut donner une petite idée de la nature de la topologie algébrique. Prenez un crayon et dessinez sur une feuille de papier une courbe qui se referme. La courbe peut être très compliquée et se recouper elle-même de multiples reprises. Vous obtenez alors une sorte d'échiquier irrégulier possédant un certain nombre de cases limitées par la courbe. Maintenant, essayez de faire comme sur un véritable échiquier, c'est-à-dire de noircir certaines cases en faisant en sorte que deux cases qui sont limitrophes soient de couleurs différentes. Eh bien, l'un des premiers théorèmes de topologie algébrique affirme que c'est toujours possible. Mes lecteurs parviendront-ils à le démontrer ? ■

Étienne Ghys, mathématicien, directeur de recherche au CNRS, à l'École normale supérieure de Lyon. etienne.ghys@ens-lyon.fr

## Le sport sur ordonnance, une occasion ratée ?

**TRIBUNE** - La loi du 26 janvier 2016 permet la prescription d'activités physiques et sportives aux personnes en affections de longue durée. Mais la sortie du décret d'application, le 31 décembre, a balayé d'un bloc les espoirs suscités par le texte

Les activités physiques et sportives (APS) sont reconnues depuis de nombreuses années par de sérieuses publications scientifiques internationales, comme un soin complémentaire permettant d'aider et d'améliorer l'efficacité des traitements allopathiques.

Pour favoriser l'intégration de ces pratiques de manière pérenne dans le champ de la thérapeutique et en particulier au profit des personnes en affections de longue durée (ALD), les députés ont voté la loi du 26 janvier 2016 (de modernisation du système de santé) qui prévoit la prescription du « sport sur ordonnance ». L'esprit de cette loi était de reconnaître, prescrire et rembourser les APS (activités physiques et sportives) comme le sont aujourd'hui la rééducation fonctionnelle ou la réadaptation à l'effort. Restait à attendre son décret d'application.

En tant qu'acteurs de terrain intervenant quotidiennement depuis seize ans auprès de tous les patients touchés par un cancer, nous espérons dans la mise en place de cette loi, une réponse concrète à la fois à un besoin de santé publique et à une nécessaire évolution de notre système de soins.

La loi, par la reconnaissance des APS, permettait le déploiement de ces pratiques pour des patients en phase aiguë afin d'élargir le spectre des prises en charge et optimiser les pratiques pour leur garantir une action thérapeutique. Par la prescription, c'est-à-dire l'orientation d'un patient par le médecin vers une personne ou un organisme réfé-

rent dans la pratique des APS, elle donnait aux professionnels du sport et des activités physiques l'accès au champ de santé pour mieux répondre aux besoins et demandes et mettre en place une coordination des différents types d'exercices. Enfin, par le remboursement des séances d'APS, elle garantissait la stabilité d'un modèle économique pour en favoriser le déploiement et assurer une équité financière et territoriale d'accès pour les patients.

Las ! La sortie du décret d'application, samedi 31 décembre 2016, a balayé d'un bloc tous ces espoirs en n'osant pas proposer les conditions de mise en place totales imaginées par cette loi. En cela, le ministère de la santé est resté fidèle à ces maladies françaises récurrentes : le jacobinisme viscéral, la peur permanente du changement, la défiance de la modernité, le compromis à tous crins.

## Opération marketing

Le décret s'est limité à définir les compétences requises des professionnels pour l'encadrement des APS. Il fait la part belle aux professionnels de santé dont l'enseignement de ces pratiques n'est pas le métier et maintient la place de ces dernières dans le champ d'une prévention « pour réduire les facteurs de risque et les limitations fonctionnelles ». Au lieu de faire évoluer le système, le décret reprend en l'état les statuts, fonctions et formations initiales et il évite surtout de donner les moyens financiers pour inclure les APS dans les parcours de soins.

LE DÉCRET ÉVITE  
DE DONNER  
LES MOYENS  
FINANCIERS  
POUR INCLURE  
LES ACTIVITÉS  
SPORTIVES DANS  
LES PARCOURS  
DE SOINS

Le ministère de la santé a donc choisi l'immobilisme enrobé d'une opération de marketing à l'image des grandes promesses qui débouchent trop souvent sur de trop petites évolutions. Ce faisant, il signe un coup d'arrêt à toute la filière du « sport-santé ». En évitant soigneusement l'aspect financier de la prise en charge de ces programmes, il ne peut garantir ni la pérennité des actions, ni l'implication des acteurs, ni l'efficacité réelle des séances d'APS proposées. Il renonce, de fait, à son devoir de solidarité par l'accroissement des inégalités d'accès à ces pratiques pourtant importantes pour de nombreux patients. En laissant aux villes, régions, agences de santé, réseaux de soins, structures de santé et associations la lourde responsabilité des financements, il favorise une politique locale aux dépens d'une politique générale avec les disparités territoriales que l'on connaît. Il prive, également,

notre pays de se doter de programmes performants coordonnés, structurés, contrôlés, validés, évaluables et identifiés pour les soignés et les soignants.

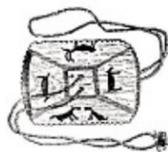
On peut se féliciter de la timide avancée du projet « sport-santé » ou déplorer la résignation de son ambition. Nous espérons, grâce à la mesure dite « sport sur ordonnance » de la loi, le lancement d'une dynamique marquée par l'intégration d'une pratique reconnue dans le parcours de soins, la modernisation de notre système de santé, une prise en charge plus globale des patients, la création d'emplois, l'arrivée de nouveaux acteurs.

Pour cela, il était nécessaire d'acter la reconnaissance et le remboursement des séances d'APS, seul gage d'efficacité. A l'heure où le débat sur l'avenir de l'Assurance-maladie s'engage, ces pratiques sont une réponse à la fois sur des enjeux d'accompagnements thérapeutiques et sur une diminution des coûts de santé. Les littératures scientifiques internationales le disent et le redisent : il y a un véritable impact social, clinique et économique à les mettre en place. Un décret en ce sens, portant un tel message de santé publique aurait relevé d'un vrai courage politique. Mais il semble que le queuillisme ait la faveur de nos gouvernants. C'est dommage. ■

¶ Jean-Marc Descotes, cofondateur de la Fédération nationale CAMI Sport et Cancer

Le supplément « Science & médecine » publie chaque semaine une tribune libre. Si vous souhaitez soumettre un texte, prière de l'adresser à sciences@lemonde.fr

## UNE CENTRIFUGEUSE LOW COST

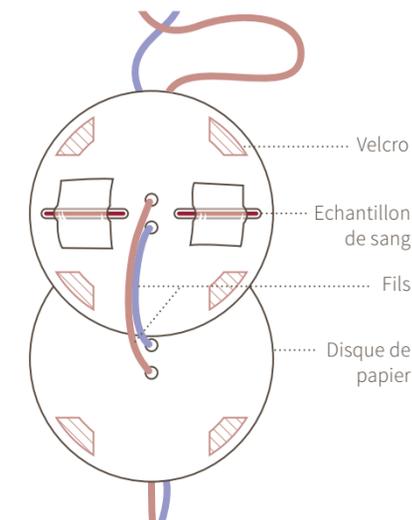


Un jouet vieux de plusieurs millénaires, présent dans de nombreuses cultures, a inspiré à une équipe de Stanford le principe d'une centrifugeuse bon marché. Comme avec cette « toupie » inuit, datant de la fin du XIX<sup>e</sup> siècle, il suffit d'un double fil traversant pour mettre celui-ci en rotation rapide, et engendrer un vrombissement caractéristique.

## Assemblage

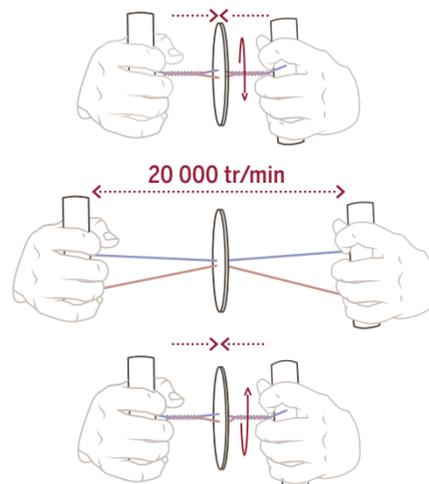
Pour la fabrication du Paperfuge, on prend deux disques de papier, entre lesquels sont fixés des échantillons de sang.

Deux trous percés au centre des disques laissent passer deux ficelles, qui sont ensuite enroulées entre elles. Des poignées permettent d'actionner le dispositif.



## Centrifugation

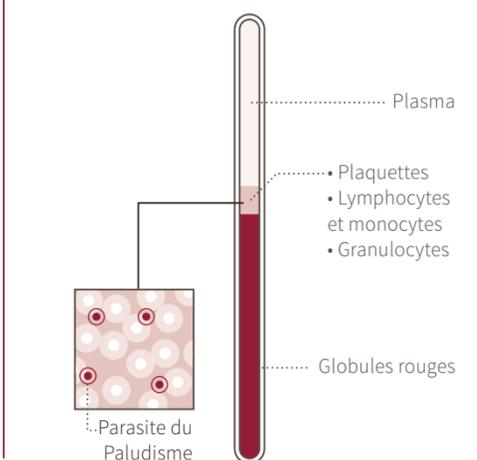
L'utilisateur applique des forces horizontales à la manière d'un joueur d'accordéon. L'enroulement et le déroulement successifs des ficelles vont mettre le dispositif en rotation. On peut ainsi atteindre des vitesses de 20 000 tr/min pour un disque de 5 cm de rayon – et jusqu'à 125 000 tr/min pour des disques plus petits. Les centrifugeuses médicales électriques tournent à 15 000 tr/min.



## Analyse

En moins d'une minute trente, les différents composés du sang sont séparés.

Pour la détection du parasite du paludisme, l'échantillon de sang doit cependant être maintenu en rotation pendant quinze minutes. Ensuite, le parasite est facilement identifiable dans la couche contenant les plaquettes et les lymphocytes. Mais un microscope à fluorescence – qui nécessite une source d'électricité – est tout de même nécessaire.



INFOGRAPHIE : VICTORIA DENYS

SOURCE : MANU PRAKASH, NATURE BIOMEDICAL ENGINEERING

Une équipe de l'université de Stanford (Californie) décrit dans *Nature Biomedical Engineering* une centrifugeuse fabriquée pour un coût total de 20 centimes ! Ce type d'appareil permet de séparer différents composés d'un mélange en fonction de leur densité en les soumettant, par rotation, à une force

centrifuge. Il est notamment utile pour les analyses sanguines mais il nécessite une alimentation électrique et son coût est normalement très élevé. Ainsi, les pays sous-développés doivent souvent se contenter de moyens précaires comme des essoreuses à salade, dont les performances sont très limitées.

La nouvelle centrifugeuse, baptisée « Paperfuge » par Manu Prakash et son équipe, permet d'obtenir des résultats à la hauteur de ceux des onéreuses centrifugeuses industrielles et sa fabrication est extrêmement simple. Monique Gueguen, médecin biologiste chez Médecins sans fron-

tières, émet cependant une réserve : « Cet instrument est intéressant pour détecter des phénomènes tels que la déshydratation, mais sa sécurité doit être améliorée car les risques de projections de sang semblent assez élevés. » ■

DONOVAN THIEBAUD