



Hans Moravec

6. LES SYSTÈMES DE VISION des robots les plus perfectionnés établiront des plans en trois dimensions (au centimètre près) des pièces où ils se trouvent, pour s'y repérer et s'y déplacer. À droite, ce plan a été réalisé à l'aide de 20 caméras stéréoscopiques.

ce qui suffira largement à la programmation des tâches simples.

Comme des reptiles gouvernés par leur instinct, ces robots de première génération ne fonctionneront correctement que dans les situations explicitement envisagées par leurs programmes. Ils ne s'adapteront pas aux changements de circonstances et rempliront leurs fonctions de façon médiocre. Néanmoins, tant de travaux les attendent dans les entreprises, dans les rues, dans les champs et dans les foyers que le chiffre d'affaires de la robotique pourrait être rapidement supérieur à celui de l'informatique.

La seconde génération de robots généralistes, aussi intelligents que les souris (100 000 MIPS), s'adaptera aux changements et sera même capable d'apprendre. Outre leurs programmes d'application, les robots seront dotés de systèmes d'autoperfectionnement, qui communiqueront des signaux positifs ou négatifs selon les performances : par exemple, l'exécution rapide d'une tâche ou la recharge des batteries à temps suscitera une sorte de récompense ; le bris d'un objet, une punition. Grâce à ces évaluations, les robots changeront leur fonctionnement afin d'éviter les punitions et d'être récompensés. Lentement mais sûrement, les robots de la deuxième génération apprendront à travailler de mieux en mieux.

Les robots de la troisième génération auront une intelligence proche de celle du singe (cinq millions de MIPS) : ils apprendront très vite, car ils s'instruiront à partir de répétitions mentales, s'appuyant sur des simulations où interviendront des facteurs physiques (la

forme, le poids, la force, la texture, l'apparence des choses, la façon de les manipuler), culturels (le nom des choses, leur valeur, leur emplacement normal et leur fonction) et psychologiques (les objectifs, les croyances, les sentiments et les préférences). La mise au point des simulateurs nécessitera des milliers de programmeurs et de robots cobayes. Le robot simulera les événements qui se produiront dans son environnement, puis ajustera les simulations pour les rendre conformes à la réalité. Il acquerra une nouvelle compétence par imitation, ce qui se traduira par une sorte de conscience. Si on lui demande pourquoi il y a des bougies sur la table, un robot de troisième génération consultera ses simulations de maison, de propriétaire et de lui-même. Puis il répondra qu'il les y a mises parce que son maître aime les dîners aux chandelles et qu'il aime faire plaisir à son maître. Si on lui pose des questions plus approfondies, ses réponses mettront en évidence une vie mentale rudimentaire, tournant autour de situations concrètes et de personnes côtoyées dans le cadre de son travail.

Les robots de quatrième génération (100 millions de MIPS) seront intellectuellement proches de l'espèce humaine. Ils feront des raisonnements abstraits et des généralisations. On les construira en équipant des robots de troisième génération de puissants programmes de raisonnement. Ceux-ci seront les descendants des programmes actuels de démonstration de théorèmes et de systèmes experts, qui imitent le raisonnement humain pour faire des diagnostics médicaux, établir les horaires de trains, prendre

des décisions financières, configurer des systèmes informatiques, analyser des données sismiques afin de localiser des gisements de pétrole...

Bien éduqués, ces robots seront très efficaces. Je suis même persuadé qu'ils arriveront à faire mieux que les êtres humains dans tous les domaines, intellectuels et physiques. Une restructuration en profondeur de notre société s'imposera. Les entreprises utiliseront des robots, et nos descendants auront toute la journée pour se consacrer à des activités sociales, artistiques et à des loisirs.

Telle que je l'ai décrite, l'évolution des robots sera dix millions de fois plus rapide que celle de l'espèce humaine. À ce rythme, les robots seront plus intelligents que nous bien avant 2050. Les scientifiques seront alors des robots, parfaitement instruits. Ils travailleront avec précision et rapidité. Leur efficacité ne cessera de s'améliorer. En 2050, l'essentiel des connaissances scientifiques aura été découvert par notre progéniture artificielle.

Hans MORAVEC travaille à l'Institut de robotique de l'Université Carnegie Mellon.

Valentino BRAITENBERG, *Vehicles : Experiments in Synthetic Psychology*, MIT Press, 1984.

Daniel CREVIER, *AI : The Tumultuous History of the Search for Artificial Intelligence*, Basic Books, 1993.

Hans MORAVEC, *Robot : Mere Machine to Transcendent Mind*, Oxford University Press, 1999.



L'Empire de la constante un

IAN STEWART

La protection efficace d'un empire requiert de solides connaissances en mathématiques.

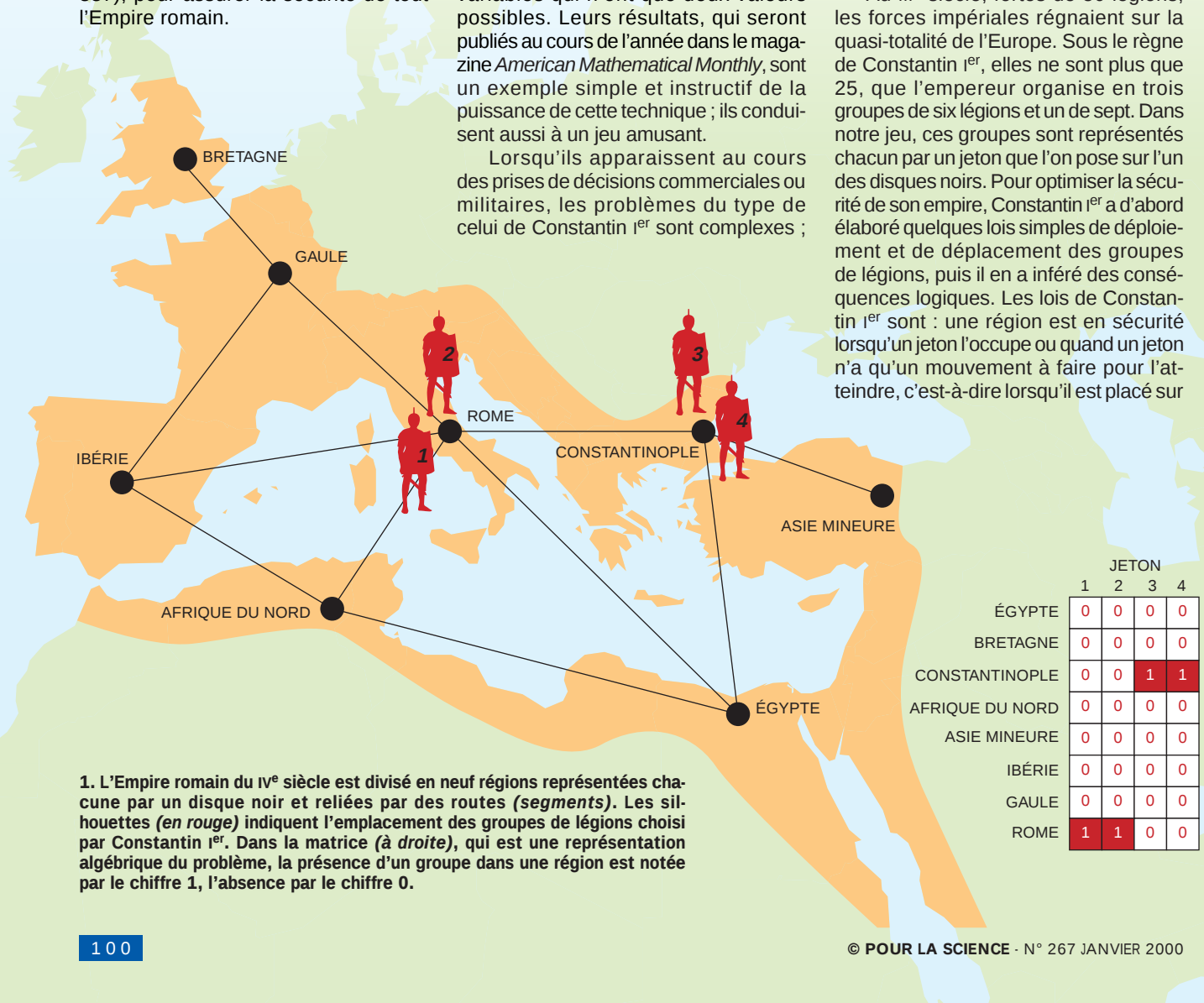
Pendant la Seconde Guerre mondiale, le général Douglas Mac Arthur (1880-1964) commandait les forces du Pacifique Sud contre les Japonais. Il ne déplaçait ses troupes d'une île à une île voisine que lorsqu'il avait assez d'hommes pour laisser sur l'île qu'il quittait une garnison suffisante pour la défendre en cas d'attaque. Cette stratégie était déjà employée il y a 16 siècles par l'empereur Constantin I^{er}, dit le Grand (270-337), pour assurer la sécurité de tout l'Empire romain.

Constantin I^{er} avait choisi de placer deux groupes de légions à Rome et deux groupes de légions à Constantinople, la nouvelle capitale qu'il venait de donner à l'Empire : existe-t-il des déploiements de troupes plus efficaces ? En 1997, Charles ReVelle, de l'Université John Hopkins, et Kenneth Rosing, de l'Université Erasme de Rotterdam, ont étudié le problème de Constantin I^{er} grâce à une technique qui transforme le problème en un problème de variables booléennes, c'est-à-dire des variables qui n'ont que deux valeurs possibles. Leurs résultats, qui seront publiés au cours de l'année dans le magazine *American Mathematical Monthly*, sont un exemple simple et instructif de la puissance de cette technique ; ils conduisent aussi à un jeu amusant.

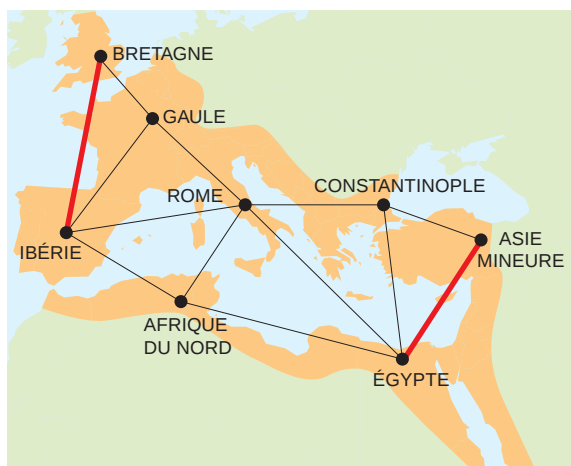
Lorsqu'ils apparaissent au cours des prises de décisions commerciales ou militaires, les problèmes du type de celui de Constantin I^{er} sont complexes ;

aussi, pour nous exercer, nous nous limitons d'abord à une carte simplifiée de l'Empire romain (voir la figure 1). Au début du IV^e siècle, l'autorité de Constantin I^{er} s'étend sur les deux rives de la Méditerranée, de l'Asie Mineure (la Turquie et la Syrie actuelles) à la Bretagne (l'Angleterre et le Pays de Galles). Divisons cette zone d'influence en huit régions, représentées chacune par un disque noir (Rome, Asie Mineure, etc.) et reliées par des routes (segments).

Au III^e siècle, fortes de 50 légions, les forces impériales régnaient sur la quasi-totalité de l'Europe. Sous le règne de Constantin I^{er}, elles ne sont plus que 25, que l'empereur organise en trois groupes de six légions et un de sept. Dans notre jeu, ces groupes sont représentés chacun par un jeton que l'on pose sur l'un des disques noirs. Pour optimiser la sécurité de son empire, Constantin I^{er} a d'abord élaboré quelques lois simples de déploiement et de déplacement des groupes de légions, puis il en a inféré des conséquences logiques. Les lois de Constantin I^{er} sont : une région est en sécurité lorsqu'un jeton l'occupe ou quand un jeton n'a qu'un mouvement à faire pour l'atteindre, c'est-à-dire lorsqu'il est placé sur



1. L'Empire romain du IV^e siècle est divisé en neuf régions représentées chacune par un disque noir et reliées par des routes (segments). Les silhouettes (en rouge) indiquent l'emplacement des groupes de légions choisis par Constantin I^{er}. Dans la matrice (à droite), qui est une représentation algébrique du problème, la présence d'un groupe dans une région est notée par le chiffre 1, l'absence par le chiffre 0.



2. Deux voies supplémentaires compliquent le problème de Constantin I^{er} parce qu'elles augmentent le nombre de possibilités de déploiements des groupes de légions.

une région adjacente ; un jeton ne peut quitter une région que lorsqu'un autre jeton reste sur la région.

Muni de ces lois, comment disposer les quatre jetons afin de protéger soit tout l'Empire, soit la plus grande partie de celui-ci ? Avec la solution choisie par Constantin I^{er} (deux groupes sont stationnés à Rome et deux groupes sont à Constantinople), la Bretagne n'est pas en sécurité, car il faut au moins quatre mouvements pour l'atteindre : par exemple, un groupe se déplace de Rome en Gaule, un autre part de Constantinople pour Rome, puis continue vers la Gaule et enfin vers la Bretagne (la Gaule semble avoir été plus importante pour l'Empire que la Bretagne, territoire distant, froid et humide).

Comment améliorer la stratégie de Constantin I^{er} ? Toutes les régions peuvent être protégées avec au plus un mouvement si l'on place deux jetons à Rome, un en Bretagne et un en Asie Mineure. Pourtant, bien que cette solution protège bien Rome (deux groupes de légions), Constantin I^{er} ne l'a pas retenue, peut-être parce qu'il craignait un affaiblissement de l'Empire en cas de troubles sur deux fronts différents : un seul mouvement de troupes de Rome vers une autre région est possible, aucun second déplacement n'est permis.

Le problème se complique (voir la figure 2) quand deux nouvelles voies relient respectivement l'Ibérie à la Bretagne et l'Égypte à l'Asie Mineure. La solution améliorée protège toujours l'Empire tout entier avec un seul mouvement au plus. Cependant, les nouvelles connexions autorisent d'autres mouvements et je vous propose de chercher d'autres solutions (nous résoudrons le problème en fin d'article).

Pour étudier ce type de problèmes dans des cas réels, donc complexes, on

utilise des programmes informatiques fondés sur une formalisation algébrique. Dans une de ces formalisations, on établit un tableau, ou matrice, dont les lignes correspondent aux régions et les colonnes aux jetons. La matrice du problème de Constantin I^{er} a donc quatre colonnes et huit lignes. On note la présence d'un jeton dans une région par le chiffre 1, son absence par le chiffre 0 (voir la figure 1). Les stratégies sont alors des règles de transformation des coefficients de la matrice. Les problèmes de ce type sont nommés problèmes à

variables booléennes, car les variables n'ont que deux valeurs possibles : zéro ou un.

Sans considérer les détails techniques, notons que la méthode de C. ReVelle et de K. Rosing divise le problème en deux. Dans le premier, on ignore la contrainte de quatre jetons et l'on cherche le nombre minimal de jetons pour assurer la sécurité de toutes les régions en un mouvement au plus. Lorsque la réponse est supérieure à quatre, le problème de Constantin I^{er} est sans solution. Puis le programme cherche le plus grand nombre de régions que l'on peut protéger en un mouvement au plus avec quatre jetons.

Les deux problèmes encadrent celui de Constantin I^{er} et indiquent d'une part l'existence d'une solution avec quatre pièces (dans notre exemple, elle existe) et, d'autre part, la possibilité de recourir à moins de jetons (dans notre exemple, c'est impossible). Elles résolvent ainsi n'importe quel problème de déploiement de ce type. Pour la seconde version du problème de Constantin I^{er}, il existe six solutions (le nombre de jetons à placer dans la région citée est indiqué entre parenthèses) :

1. Ibérie (2) ; Égypte (2).
2. Ibérie (2) ; Constantinople (2).
3. Ibérie (2) ; Asie Mineure (2).
4. Bretagne (1) ; Rome (1) ; Asie Mineure (1).
5. Bretagne (2) ; Égypte (2).
6. Gaule (2) ; Égypte (2).

En 407, les successeurs de Constantin I^{er} ont perdu la Bretagne. Cette perte ne s'explique certainement pas par notre modèle simple, mais on ne peut s'empêcher de penser qu'avec de meilleures connaissances en mathématiques, Constantin I^{er} aurait été meilleur stratège et l'Empire romain aurait duré un peu plus longtemps !

Ce magazine vous intéresse !



Vous y trouverez :

- ☐ Sciences-actualités
- ☐ L'actualité en astronomie
- ☐ Les actualités biomédicales
- ☐ Nouvelles de l'environnement
- ☐ Le texte intégral des conférences du samedi
- ☐ Le commentaire des expositions permanentes et temporaires
- ☐ Le programme des activités du Palais de la découverte

Je souscris un abonnement à la

REVUE DU PALAIS DE LA
DÉCOUVERTE

Je joins mon règlement par chèque
à l'ordre du

PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
(CCP 9065 48 J PARIS)

Tarif France : 170 F (10 numéros par an)

Tarif étranger : 200 F

par mandat international uniquement
(par avion, supplément de 80 FF)

Abonnement de soutien : 230 F

Nom (M., Mme, Mlle) :

Prénom :

Adresse :

.....

Ville :

Code postal :

Profession :

à retourner avec votre règlement à
Revue du PALAIS DE LA DÉCOUVERTE
Av. Franklin-D.-Roosevelt - 75008 Paris.
Tél. : 01 40 74 80 0



Des tunnels dans l'espace-temps

ROLAND LEHOUCQ • JEAN-PHILIPPE UZAN

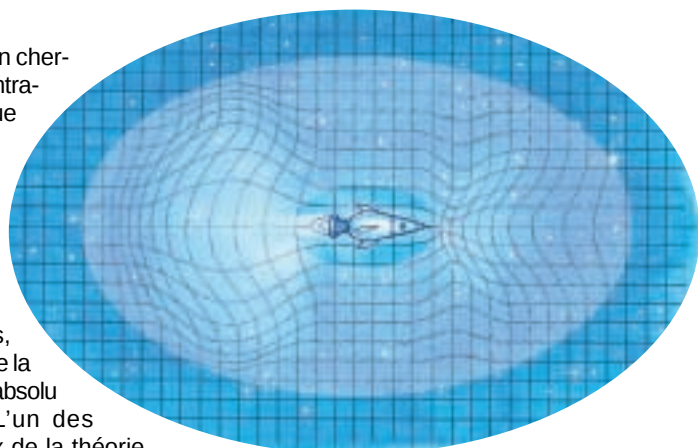
En déformant l'espace-temps, un vaisseau pourrait se déplacer «plus vite que la lumière» par rapport aux étoiles lointaines, sans violer la relativité générale.

Sans voyage supraluminique, comment rendre crédible une saga galactique dont les personnages se déplacent sur 100 000 années-lumière ? La science est pourtant formelle : pas moyen de dépasser la vitesse de la lumière. Alors, sommes-nous définitivement contraints à une vitesse d'escargot ?

Le voyage vers les étoiles paraît ardu quand on songe aux distances colossales qui nous séparent des astres les plus proches. Réduisons le Soleil, dont le diamètre est de 1,4 million de kilomètres, à la taille d'une bille d'un centimètre de diamètre. À cette échelle, la Terre n'est qu'un point d'imprimerie, d'un dixième de millimètre, en orbite à environ un mètre de notre bille. Pluton, la plus lointaine planète du Système solaire, est alors à 42 mètres de la bille et l'étoile la plus proche, Proxima du Centaure, distante de 4,3 années-lumière du Soleil, en est éloignée de 292 kilomètres. À l'évidence, le franchissement de telles distances nécessitera des moyens de déplacement rapides...

La difficulté d'un tel voyage réside en la limite de la vitesse de déplacement.

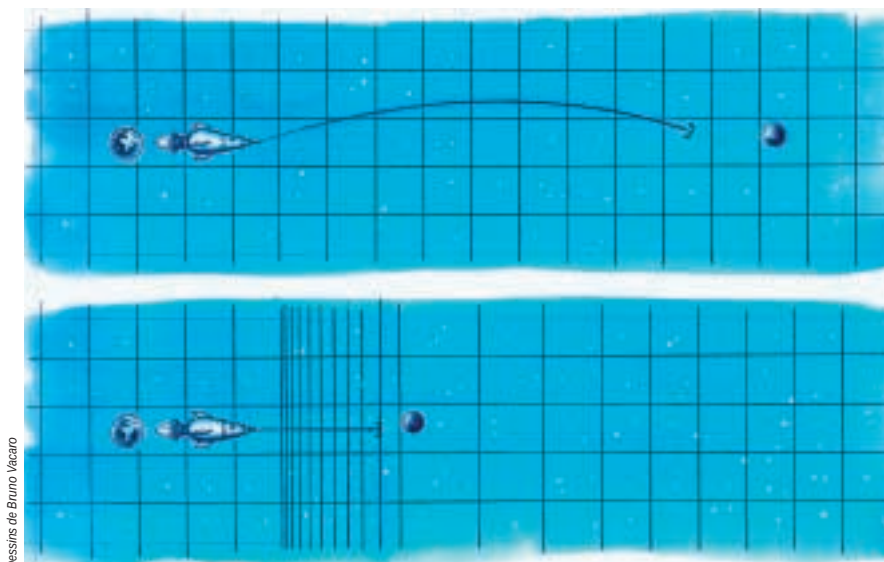
En 1905, Albert Einstein cherchant à résoudre les contradictions entre la physique galiléenne, où les vitesses s'ajoutent, et l'électromagnétisme de James Maxwell, où les ondes lumineuses se déplacent toujours à la vitesse de la lumière, ni plus ni moins, postule que la vitesse de la lumière est un invariant absolu et infranchissable. L'un des aspects fondamentaux de la théorie d'Einstein en découle : le temps n'est pas absolu et dépend du mouvement de celui qui le mesure. Vu de la Terre, un vaisseau spatial voyageant à une vitesse inférieure de 0,005 pour cent de celle de la lumière atteindra Proxima du Centaure en à peine plus de 4,3 ans. Pour atteindre Deneb, l'étoile la plus brillante de la constellation du Cygne distante de 1 630 années-lumière, il faudra compter un peu plus de 1 630 ans. Toutefois, la durée du voyage Terre-Deneb mesurée par les passagers



Bulle d'espace-temps

du vaisseau n'est que de 16,3 ans, c'est-à-dire 100 fois inférieure à la durée mesurée par un observateur resté sur Terre. Le déplacement à une vitesse proche de celle de la lumière résout donc le problème du voyageur qui souhaite atteindre sa destination en un temps raisonnable, de son point de vue, mais pas de celui des personnes qui attendent son retour sur Terre (à condition toutefois de trouver un moyen de propulsion efficace).

Dans sa seconde théorie de la relativité, dite relativité générale, élaborée en 1915, Einstein montre comment la présence de matière modifie l'espace-temps. Dans cette théorie, l'espace-temps devient une entité déformable et les corps s'y déplacent d'un point à un autre en suivant une trajectoire de plus court chemin. Par exemple, dans un espace-temps courbé par un objet massif, la trajectoire d'un corps lancé ou d'un rayon lumineux épousera la courbure de l'espace-temps. Augmenter la vitesse n'est alors plus le seul moyen pour diminuer le temps de parcours, qu'il soit mesuré par un observateur terrestre immobile ou par le voyageur : avec un espace-temps élastique, on peut aussi diminuer la distance à parcourir. Pour ce faire, il «suffit» de déformer l'espace-temps. En imaginant un espace-temps élastique, on peut imaginer rapprocher de nous,



Dessins de Bruno Vacaro

Contraction de l'espace-temps.