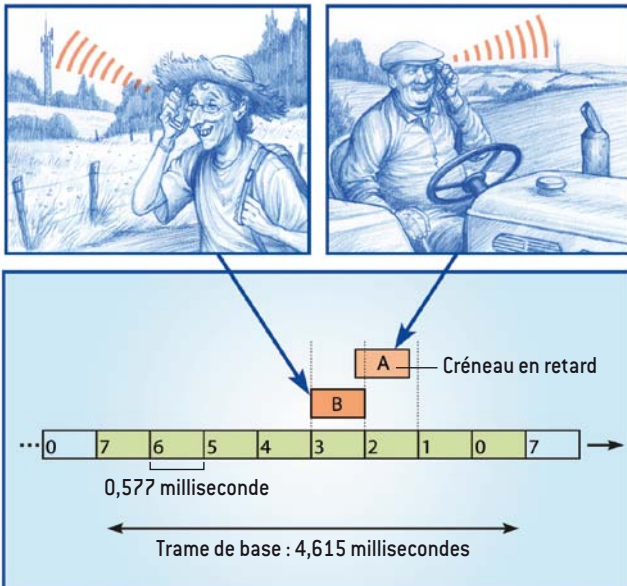
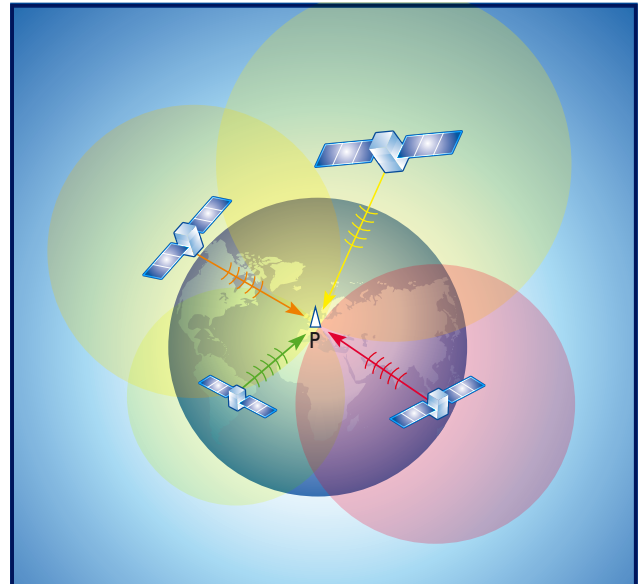




1. DANS LE SYSTÈME GSM DE TÉLÉPHONIE MOBILE, chaque antenne peut prendre en charge les signaux de huit téléphones en même temps. À chacun de ces téléphones est attribué un créneau de 0,577 milliseconde [qui peut transmettre jusqu'à 148 bits d'information] dans chaque tranche temporelle de 4,615 millisecondes. La distance antenne-téléphone doit être prise en compte pour ajuster les instants d'émission. Sinon, le créneau d'un téléphone se trouvant par exemple à 30 kilomètres de l'antenne serait décalé, à la réception par celle-ci, de 0,1 milliseconde et chevaucherait le créneau suivant reçu d'un téléphone proche de l'antenne.



2. LA GÉOLOCALISATION PAR SATELLITES nécessite un ensemble d'au moins quatre satellites dont les horloges sont bien synchronisées. La mesure de la distance à trois satellites suffit en principe pour déterminer la position de l'appareil de localisation (P), mais la mesure de ces distances par P, déterminée par les durées des allers et retours des signaux, exige que P ait la même heure que les satellites. Or cet ajustement de l'horloge de P nécessite la présence d'un quatrième satellite : les quatre satellites fournissent ainsi les données requises pour déterminer les quatre coordonnées (trois d'espace, une de temps) de l'appareil P.

Ce que l'on nomme un référentiel d'espace-temps est ainsi une collection d'horloges identiques placées en chaque point de l'espace. Une horloge détermine sa distance avec ses voisins en mesurant la durée nécessaire à un signal électromagnétique, c'est-à-dire de la lumière, pour faire l'aller et retour, comme le fait une antenne GSM avec un téléphone mobile.

Le temps construit avec des objets physiques

Elles peuvent ensuite se synchroniser, toujours par échanges de signaux électromagnétiques : deux horloges A et B sont dites synchronisées si, lorsque l'horloge B renvoie à l'horloge A le signal reçu de cette dernière, l'heure t_B de ce renvoi selon l'horloge B est la moyenne de l'heure d'envoi t_A et de l'heure de retour t_A' sur la première horloge A (c'est-à-dire si $t_B = (t_A + t_A')/2$).

C'est cette philosophie de construction de l'espace-temps qui est mise en œuvre dans les systèmes de géolocalisation par satellites tels que le GPS américain ou le futur *Galileo* européen. Le référentiel GPS est ainsi construit à partir d'horloges atomiques embarquées dans une constellation de satellites et synchronisées, par la procédure décrite plus haut, avec des horloges de référence situées au sol.

Cependant, les horloges sont en mouvement et évoluent dans le champ de gravité de la Terre, ce qui modifie les rythmes relatifs et complique beaucoup la situation. En pratique, des corrections sont effectuées de telle façon qu'à chaque instant, l'heure indiquée par chaque satellite soit identique à l'heure qu'indiquerait une horloge immobile située au même endroit et en l'absence de champ de gravitation.

C'est ce système de référence temporelle qui, aujourd'hui, permet à chacun

LES AUTEURS



Jean-Michel COURT Y et Édouard KIERLIK sont professeurs de physique à l'Université Pierre et Marie Curie, à Paris. Leur blog : <http://blog.idphys.fr>

Retrouvez les articles de J.-M. Courty et E. Kierlik sur www.pourlascience.fr



BIBLIOGRAPHIE

T. Kawalec, *Should we bother with the speed of light in everyday life ? A closer look at GSM technology*, *Physics Education*, vol. 47(5), pp. 579-583, 2012.

Ph. Matherat et M.-T. Jaekel, *Relativistic causality and clockless circuits*, *ACM Journal of Emerging Technologies in Computing Systems*, vol. 7(4), article 20, 2011 (<http://hal.archives-ouvertes.fr/hal-00389739/fr/>).

de se localiser facilement et rapidement, où qu'il soit. Chaque satellite émet régulièrement un signal daté. Notre récepteur, qu'il s'agisse d'un appareil dédié ou d'un téléphone mobile, compare cette heure avec l'heure de référence de son horloge et en déduit le temps que le signal a mis pour lui parvenir, donc la distance avec le satellite émetteur. En mesurant ainsi les distances qui séparent notre appareil d'au moins trois satellites, on détermine sans ambiguïté notre position sur la Terre (voir la figure 2).

Mais cela suppose que notre appareil soit synchronisé ! Or il ne dispose pas d'une horloge capable de conserver le temps à une dizaine de nanosecondes près (durée pendant laquelle la lumière parcourt trois mètres). En fait, on peut se contenter d'une

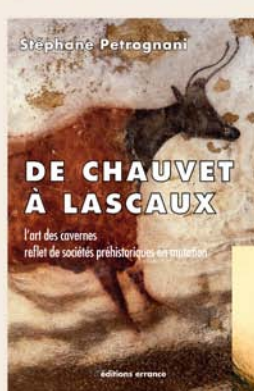
horloge de qualité bien inférieure, à condition qu'elle soit mise à l'heure en permanence, en utilisant les signaux reçus des satellites. En un lieu et à un instant donnés de réception, il suffit d'utiliser les informations reçues de quatre satellites différents, soit quatre données, pour reconstituer les quatre coordonnées spatio-temporelles de l'événement de détection (trois coordonnées de position, une coordonnée de temps). En plus d'indiquer notre position, le système de localisation remet donc constamment à l'heure l'horloge de notre appareil et nous fournit ainsi l'heure « exacte ».

On le saura : la vitesse finie à laquelle se propage la lumière et la synchronisation des horloges sont, aujourd'hui, les deux mamelles de la communication et de la géolocalisation. ■

Nouveautés



editions errance



DE CHAUVET À LASCAUX
L'art des cavernes
reflet de sociétés préhistoriques en mutation



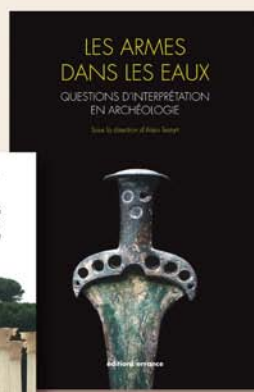
Le passé du fantôme
La représentation de la Préhistoire en France
dans la seconde moitié du 20^e siècle
(1940-2012)
Avec les interviews de Jean-Louis Aronson
et Jacques Bidault



DES IMAGES POUR LES DIEUX
Le mythe et l'art rituel dans le Centre de l'Europe



L'ARCHÉOLOGIE DES DISCIPLINES GÉOHISTORIQUES



LES ARMES DANS LES EAUX
QUESTIONS D'INTERPRÉTATION EN ARCHÉOLOGIE

De Chauvet à Lascaux
16 x 24 cm, 43 €

Le passé du fantôme
16 x 24 cm, 46 €

Des images pour les dieux
22 x 28 cm, 39 €

Archéologie des disciplines géohistoriques
16 x 24 cm, 44 €

Les armes dans les eaux
16 x 24 cm, 49 €

<http://www.librairie-epona.fr/> - <http://www.actes-sud.fr/departement/errance>