

Raymond GHIRARDI*

RESUME Cinq exemples de trajectoires de sondes spatiales illustrent l'influence du choix du référentiel sur la géométrie de la représentation des orbites, ainsi que sur la lecture des temps, des vitesses et des distances.

• ORBITE
• REFERENTIEL
• SONDE SPATIALE

Représenter les trajectoires des véhicules spatiaux dans le système solaire suppose comme préalable de définir un référentiel au sens géométrique du terme, soit l'ensemble des repères que l'on prendra comme origine des mesures et qui seront considérés comme fixes. Ils consistent en général en un point origine et un axe orienté. Dans ce référentiel, on devra choisir la surface sur laquelle projeter les coordonnées des objets étudiés.

Des plus géocentriques aux plus «galactiques», une infinité de référentiels sont concevables, le plus géocentrique étant celui de la traditionnelle carte du ciel, dont la surface de projection est celle d'une sphère ayant pour centre le centre de la Terre. Il présente peu d'intérêt pour les représentations des trajectoires dans le système solaire. Quant aux référentiels dont le point fixe est hors du système solaire, peut-être trouveront-ils leur utilité dans l'avenir? Les figures présentées illustrent les trois types de référentiels les plus utilisés.

Dans le premier, le point de référence est le centre de la Terre, ou d'une autre planète; la direction est celle d'un point hors du système solaire. On prend en général la direction du point vernal, c'est-à-dire celle du vecteur qui joint le centre de la Terre au centre du Soleil à l'équinoxe de Printemps. C'est ce qu'on pourrait appeler le référentiel local; seules les orbites ayant le point de référence pour foyer restent des courbes de la famille des coniques (ellipses, paraboles ou hyperboles). Le plan de projection pourra être celui de l'Equateur, ou celui de l'Ecliptique (fig. 1a), ou tout autre plan, par exemple celui de l'orbite que l'on veut représenter.

Le point de référence étant toujours le centre de la planète, on peut adopter comme direction celle d'un autre point du système solaire, par exemple celle d'une autre planète, ou du Soleil (fig. 2a). Dans ce référentiel, seules seraient des coniques les orbites ayant le point de référence pour foyer et dont l'orientation resterait constante par rapport à la direction de référence, ce qui est exceptionnel.

ABSTRACT Five examples of space probes trajectories show how choice of a reference system influences the geometry of orbit representation and as well time, speed and distance reading.

• ORBIT
• REFERENCE SYSTEM
• SPACE PROBE

RESUMEN Cinco ejemplos de trayectorias de sondas espaciales ilustran la influencia de la elección del referencial sobre la geometría de la representación de las órbitas, así como sobre la lectura de los tiempos, velocidades y distancias.

• ORBITA
• REFERENCIAL
• SONDA ESPACIAL

Le référentiel le plus utilisé est le référentiel galiléen, dans lequel toutes les orbites héliocentriques sont des coniques. Il prend comme point fixe le centre du Soleil et comme direction celle du point vernal. En toute rigueur, cette direction n'est pas fixe par rapport aux étoiles, un mouvement de précession très lent lui faisant parcourir un tour complet en 27 800 ans. Les figures 1b, 1c et 2b ont été établies dans ce référentiel, avec projection sur le plan de l'Ecliptique. Les coordonnées utilisées pour la localisation des planètes (l'axe des X étant la direction du point vernal en l'an 2000) sont celles qu'a établies le Bureau des Longitudes.

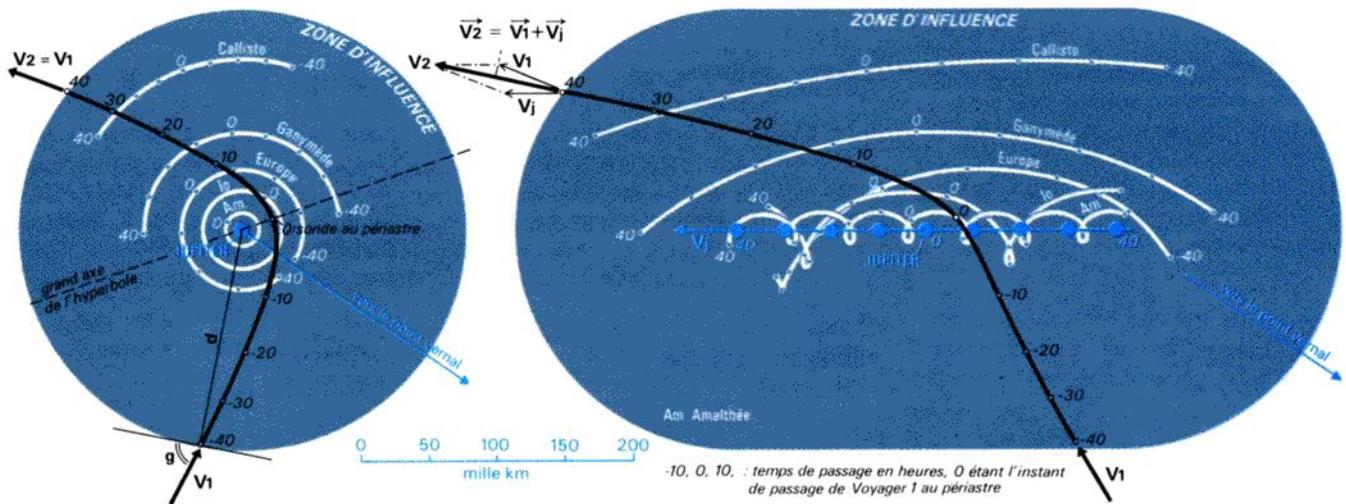
Le choix d'un référentiel et d'une surface de projection conditionne tous les aspects de la représentation d'une trajectoire, notamment les plus spécifiques: la tridimensionnalité et l'intégration de la composante temporelle.

La première est liée au choix du plan de projection. Puisque tous les objets du système solaire (à part les comètes et certains astéroïdes) et toutes les sondes spatiales lancées jusqu'à présent se déplacent au voisinage du plan de l'Ecliptique, il est normal qu'il soit le plus souvent choisi; mais la représentation de la troisième dimension reste souvent nécessaire (effet perspectif, quantification de trajectoires selon Z, représentation annexe dans un plan orthogonal, etc.).

Quant à la composante temporelle, elle est liée au choix du point de référence, puisque c'est le seul qui reste fixe dans le temps. Tout autre objet est représenté par la projection de sa trace, un point s'il s'agit d'une représentation instantanée, une courbe s'il s'agit d'une représentation dans le temps. Dans tous les cas, un repérage temporel est nécessaire: points datés, segments de durée définie, vecteurs-vitesse ou accélération, etc.

Les figures illustrent, pour une même trajectoire, la diversité des représentations selon le référentiel choisi.

* IMAGEO-C.N.R.S.

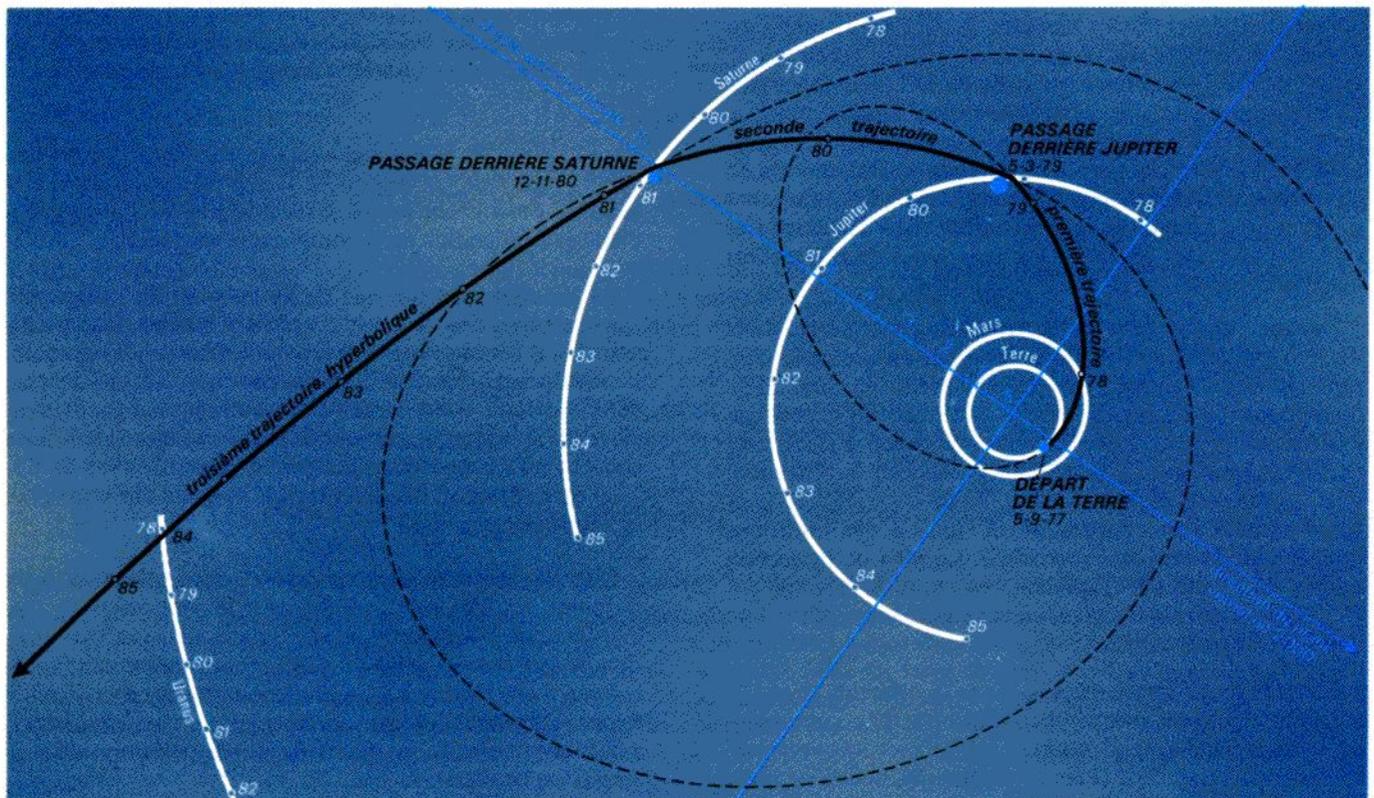


1a. Voyager 1 dans la zone d'influence de Jupiter.

Sa trajectoire dans le référentiel local est une hyperbole dont les paramètres se déduisent des caractéristiques au point M: vitesse V_1 , angle avec l'horizontale locale g , distance au foyer d . La vitesse par rapport à Jupiter est la même lorsque la sonde entre dans la zone d'influence de la planète et lorsqu'elle en sort.

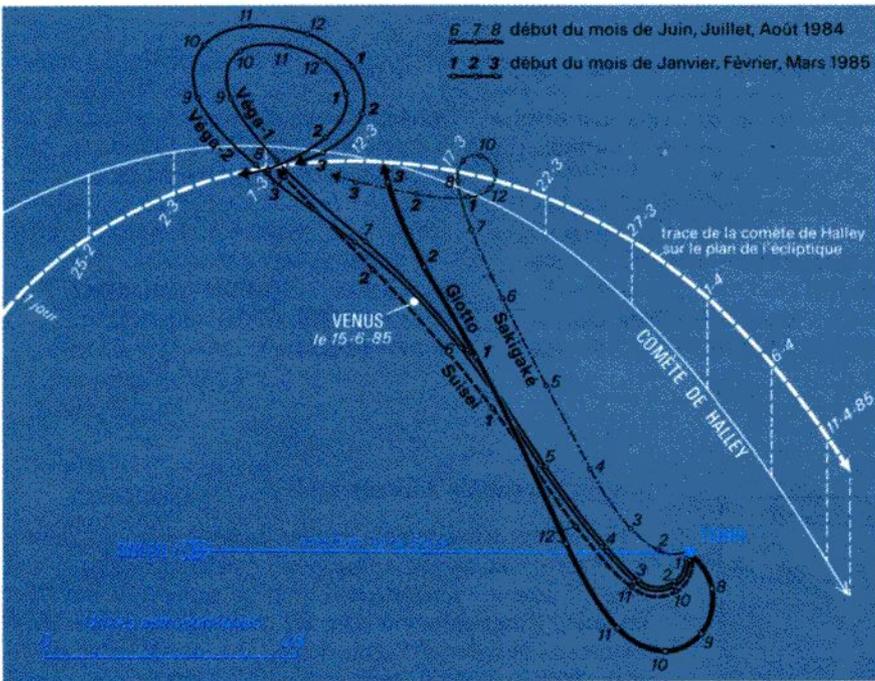
1b. Même trajectoire en référentiel galiléen.

On voit que, par rapport au système solaire, la vitesse à la sortie de la zone d'influence, V_2 , est la somme vectorielle de la vitesse d'entrée V_1 et de la vitesse propre de Jupiter V_j autour du Soleil: c'est l'effet d'assistance gravitationnelle (swing-by). Le choix des caractéristiques au point M permet dans certaines limites de contrôler les modifications de direction et de vitesse.



1c. La trajectoire d'ensemble de Voyager 1, toujours en référentiel galiléen, se révèle composée de trois orbites successives, d'amplitude croissante (deux ellipses et une hyperbole). C'est l'effet d'assistance gravitationnelle qui permet de passer d'une portion d'orbite à la suivante. L'hyperbole finale fera sortir Voyager 1 du système solaire.

1. La trajectoire de Voyager 1

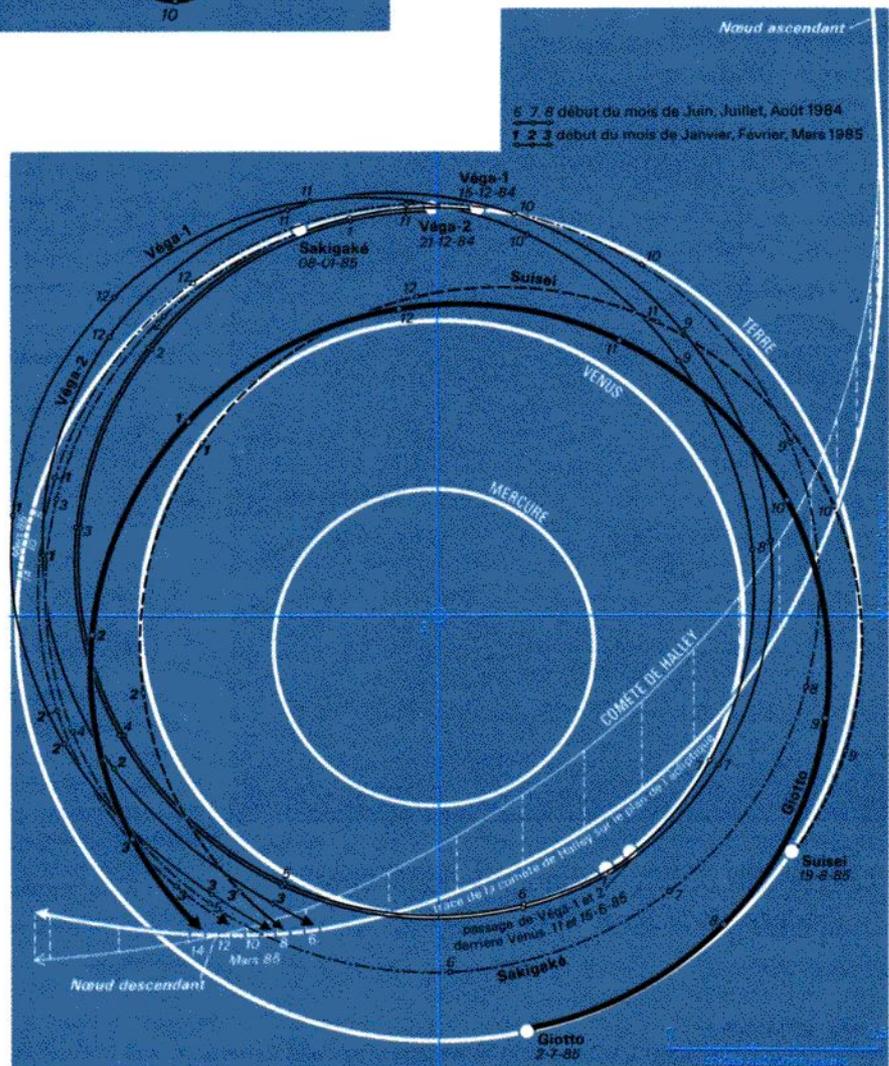


2a. Les sondes Véga, Giotto, Sakigaké et Suisei en route vers leur rendez-vous avec la comète de Halley.

Dans cette représentation, la direction Terre-Soleil est considérée comme fixe. Les trajectoires sont des courbes complexes, mais la distance des objets à la Terre se lit facilement (d'après R. Farquhar, repris dans le Bulletin de l'E.S.A., numéro 46).

2b. Mêmes trajectoires à la même échelle en référentiel galiléen.

Elles apparaissent comme des orbites héliocentriques, légèrement modifiées pour Véga 1 et 2 par un passage derrière Vénus. L'orbite de la comète de Halley étant très inclinée sur le plan de l'écliptique, le point de rendez-vous le plus commode devra être au voisinage d'un des noeuds. C'est le noeud descendant, le plus proche de l'orbite terrestre, qui a été choisi.



2. Les trajectoires des sondes vers la comète de Halley