

# Exposition des Sciences 2011

Dossier pédagogique

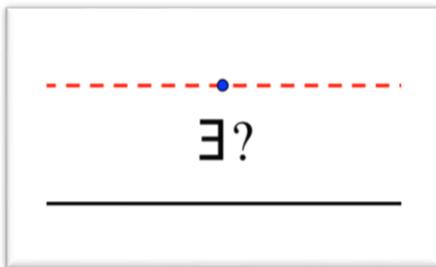
Ici et ailleurs

## L'Univers, à tore et à travers

La géométrie étudie certains espaces et les propriétés des objets qui y vivent. En géométrie classique, dans le sens utilisé par Poincaré, l'espace considéré (généralement bi- ou tridimensionnel) est continu, infini, homogène (tous les points sont identiques) et isotrope (en chaque point, toutes les directions, *i.e.* toutes les droites, sont identiques). Construire une telle géométrie consiste ainsi à définir les quatre objets fondamentaux que sont le point, la droite, le plan et l'espace, et à décrire leurs règles d'agencement, formant un système de *postulats* ou *axiomes* (propriétés acceptées sans démonstration) à partir duquel on pourra déduire tous les résultats possibles concernant la géométrie considérée.

Fondée sur la base de notre expérience quotidienne du monde physique, formalisée par Euclide dans ses *Éléments* (III<sup>e</sup> siècle AC), la géométrie dite "euclidienne" en est un exemple; elle se fonde sur cinq postulats, dont le dernier (le "postulat des parallèles") peut, dans notre formulation moderne, être énoncé comme suit: « *par un point extérieur à une droite, on peut faire passer une et une seule droite parallèle à cette droite* ».

Longtemps, les successeurs d'Euclide ont pensé que ce cinquième postulat était d'une autre nature et devait pouvoir se démontrer à partir des quatre autres. Saccheri, pour citer un de ces mathématiciens, a essayé toute sa vie de le démontrer par l'absurde, sans succès. Cependant, imaginer un espace où les quatre premiers postulats seraient vérifiés mais non le cinquième allait totalement à l'encontre de l'intuition physique et semblait de ce fait impossible.

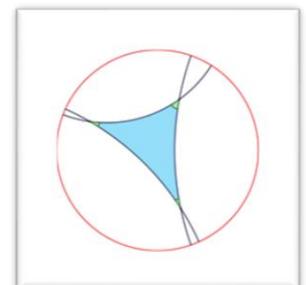


Il faudra attendre 1813, pour que Gauss admette enfin la possibilité d'existence d'une géométrie où **le cinquième postulat d'Euclide serait nié**; pour éviter les critiques, il ne publiera cependant rien sur le sujet. Vers 1830, N.I. Lobatchevski et J. Bolyai construisent (officiellement) une géométrie où par un point donné extérieur à une droite donnée passent au moins deux parallèles à cette droite, niant ainsi le cinquième postulat. Ils créent alors "un autre monde, un nouveau monde à partir de rien"

(selon les termes de Bolyai), qui sera l'espace hyperbolique. Ils y découvrent de surprenantes propriétés (certaines déjà découvertes par Saccheri, qui tentait, en vain, d'y trouver une contradiction):

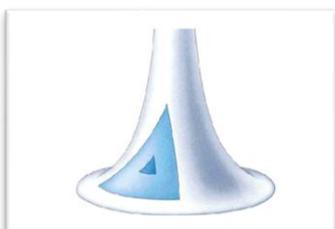
1. les seules figures semblables sont les figures égales;
2. par trois points non alignés, il ne passe pas nécessairement un cercle;
3. la somme des angles d'un triangle est strictement inférieure à  $\pi$  rad;
4. l'aire de tout triangle est bornée supérieurement; plus précisément, pour un triangle d'angles  $\alpha_i$ , l'aire vaut  $\frac{1}{k}(\pi - \sum_i \alpha_i)$ , pour une certaine constante  $k$  (qui correspond à la valeur absolue de la courbure gaussienne de l'espace considéré).

Cependant, cette nouvelle géométrie n'était pas encore à l'abri de contradictions internes... Afin de s'assurer de sa consistance, il s'agissait d'en créer un modèle euclidien; car alors, si l'on suppose la géométrie euclidienne consistante (ce qui fut par ailleurs démontré par Tarski), le théorème de complétude de Gödel nous assure que la géométrie hyperbolique l'est aussi. La construction du **disque de Poincaré** et de la



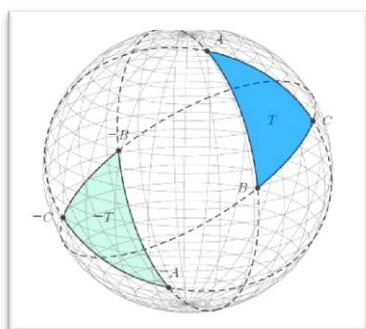
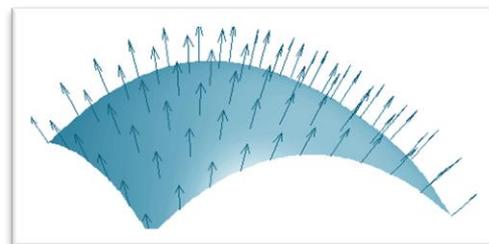
pseudosphère de Beltrami joua ce rôle précieux.

Beltrami fournit, grâce à sa **pseudosphère**, une première surface dans  $\mathbf{R}^3$  sur laquelle tient la **géométrie hyperbolique**. Viennent alors les travaux de B. Riemann, qui introduit et étudie des espaces courbes, plus précisément ce que l'on appelle des variétés riemanniennes. Dans de tels



espaces, on peut définir une géodésique comme le chemin le plus court (ou l'un d'eux s'il y en a plusieurs) entre deux points ; c'est ce qui jouera le rôle des segments de droites. D'autre part, la structure métrique de ces espaces permet d'y définir des notions de courbure.

Dans le cas particulier d'une **surface différentiable orientée**  $S$  dans  $\mathbb{R}^3$  on peut définir un unique **champ normal unitaire** compatible avec l'orientation de  $S$ ; l'opposé de la différentielle de ce champ est appelé l'endomorphisme de Weingarten, dont le déterminant est la courbure de Gauss de  $S$ , correspondant exactement à notre notion intuitive de courbure.



La courbure des surfaces doit être constante si l'on veut pouvoir les munir d'une géométrie homogène. À côté de la géométrie hyperbolique, dont on peut munir des surfaces à courbure constante négative, est ainsi introduite la **géométrie sphérique**, dont on peut munir des surfaces à courbure constante positive, comme la sphère. On y nie le postulat des parallèles de la manière suivante: par un point donné extérieur à une droite donnée, il ne passe aucune droite parallèle à cette droite. Dans ce cadre, on démontre que la somme des angles d'un triangle est strictement supérieure à  $\pi$  rad et que l'aire d'un triangle d'angles  $\alpha_i$  vaut  $\frac{1}{k}(\sum_i \alpha_i - \pi)$  (ici  $k = \frac{1}{R^2}$  où  $R$  est le rayon de la sphère considérée, parallèlement au résultat correspondant en géométrie hyperbolique).

Parmi les propriétés étonnantes observées dans des géométries non-euclidiennes, indiquons qu'en géométrie hyperbolique le problème classique de la quadrature du cercle (*i.e.* la construction à la règle et au compas d'un carré dont l'aire vaut celle d'un cercle donné) devient possible, alors qu'elle ne l'est pas en géométrie euclidienne: il est en effet possible, dans le disque de Poincaré, de construire à la règle et au compas un carré dont les quatre angles sont égaux à  $\frac{\pi}{4}$ , donc dont l'aire vaut  $\pi$ .

Beltrami sera l'un des premiers à étudier la modification des lois de la Physique dans un espace à courbure négative; Riemann y songera lui aussi. Mais il faudra cependant attendre les travaux d'Einstein et l'avènement de la relativité générale pour que les espaces courbes acquièrent leur importance fondamentale en Physique, la structure métrique de notre univers s'avérant être d'une grande complexité. Après l'établissement de sa théorie de la relativité restreinte, Einstein cherchait à pallier le problème de l'instantanéité des interactions gravitationnelles. Désireux d'obtenir une expression unifiée des lois de la dynamique, de la gravitation et de l'électromagnétisme, qui soit identique dans *tous* les référentiels (inertiels, accélérés, etc.), il élabora ainsi la théorie de la relativité générale, qui ajoute à la relativité restreinte que la matière déforme localement l'espace-temps lui-même. Dans cet **espace-temps à courbure compliquée**, les trajectoires satisfaisant le principe de moindre action correspondent aux géodésiques; la gravitation n'est désormais plus vue comme une force, mais comme la manifestation de la courbure de l'espace-temps. À travers la cosmologie, qui étudie les solutions de l'équation d'Einstein, cette théorie possède d'innombrables conséquences, notamment en ce qui concerne l'expansion de l'Univers, sa structure, les trous noirs, etc.



# SETI@home : Le traitement du bruit dans les signaux.

---

SETI@Home est un programme de recherche géré par l'université de Berkley aux États-Unis qui regroupe plusieurs projets. Son but est de détecter les signaux que d'autres formes d'intelligence extraterrestre seraient susceptibles d'émettre. Afin de les détecter, ces projets doivent enregistrer l'entièreté du spectre électromagnétique venant de l'espace et le traiter.

Plusieurs étapes sont nécessaires lors du traitement de ces signaux. L'une de ces étapes – celle que nous traitons sur notre stand – est celle du traitement du bruit.

**Mais que voulons nous dire par « signal » ?** Un signal, c'est une information qui est envoyée d'un émetteur à un récepteur. Ce signal peut-être par exemple, un son, une image,...

**Et le bruit ? C'est quoi ?** Le bruit, c'est en fait, tous les parasites qui se rajoutent à un signal. Il y a plusieurs sortes de bruits. Certains apparaissent lors de la capture d'un signal (lorsque l'on prend une photo par exemple, ou lorsque l'on enregistre un son). Et d'autres apparaissent lors du transport de ce signal (lorsqu'on écoute la radio dans un tunnel, des parasites peuvent apparaitre. Lorsqu'on envoie des images dans l'espace, des parasites peuvent également apparaitre dans certains cas sur l'image).



Figure 2 : Image sans bruit



Figure 2 : Image avec bruit

Il n'est généralement pas possible de supprimer intégralement ce bruit mais il est par contre possible de le diminuer par différentes méthodes. Certains de ces traitements sont très génériques et d'autres sont plus spécifiques à un type d'information. Ces derniers sont généralement plus efficaces. Pour notre part, c'est le bruit dans les images que nous essayons de traiter. En testant plusieurs méthodes à l'aide d'un logiciel que nous avons développé, en les comparant, en expliquant pourquoi l'une est meilleure que l'autre, ...

## **SETI@Home** **et le calcul distribué volontaire au service de la science**

Jimmy Broché, Aureliano Naviliat, Marie Rodriguez, Loïc Vaes  
ULB - Département d'Informatique

L'informatique est une science au service des autres disciplines scientifiques; elle est devenue indispensable dans de nombreux domaines de recherche actuels, depuis l'analyse des données produites par les accélérateurs de particules jusqu'aux simulations qui permettent de prédire les changements climatiques.

Nombre de ces applications nécessitent de très grandes capacités de traitement de l'information. Pour y faire face, les institutions concernées doivent souvent faire le choix entre l'acquisition d'un supercalculateur, c'est-à-dire un seul ordinateur très puissant, ou bien d'un groupe d'ordinateurs moins puissants qui collaborent et se partagent la charge de travail. Cette deuxième solution, le calcul distribué, est souvent plus souple et plus intéressante financièrement.

Certains projets ont néanmoins développé une autre approche, le recours à la participation de volontaires. Des particuliers répartis dans le monde entier mettent à disposition des chercheurs la capacité de calcul de leurs ordinateurs personnels, typiquement pendant les périodes d'inactivité de leurs processeurs, quand ils sont en veille par exemple. Dans ce modèle, l'organisme de recherche distribue à ses participants de petites unités d'informations à analyser, celles-ci sont traitées par les ordinateurs des volontaires, et les résultats sont renvoyés à l'équipe scientifique.

Bien que la puissance individuelle des machines utilisées soit relativement faible, le nombre de participants permet de rivaliser avec les supercalculateurs les plus puissants, à un coût modéré pour l'équipe de recherche. En fait, un de ces projets regroupe plusieurs millions de personnes, et sa puissance totale de calcul est deux fois plus grande que celle du plus puissant supercalculateur au monde, lequel a coûté plus de soixante millions d'euros.

SETI@home est un de ces projets de calcul distribué volontaire, et le pionnier de ce système. SETI, *Search for Extraterrestrial Intelligence*, a pour mission de chercher l'existence de civilisations extraterrestres en tentant de détecter des signaux radios émis depuis l'espace. Des télescopes balaient la voûte céleste, et produisent une très grande quantité de données qui sont segmentées et réparties entre les volontaires pour traitement. Les ordinateurs des participants analysent les informations reçues, et informent l'équipe de SETI des résultats obtenus. Si jusqu'ici aucun signal extraterrestre n'a été détecté, la recherche continue.

Ce type d'organisation présente néanmoins quelques inconvénients, dont la question de la fiabilité des données obtenues. Si les calculs sont effectués par des volontaires et non sur des ordinateurs qui appartiennent à l'institution en question, il est impossible de contrôler le traitement des données, et difficile d'être certain des résultats reçus. Des résultats incorrects peuvent être causés par exemple par des erreurs de calcul au niveau du processeur, par des bogues dans les logiciels utilisés, ou même potentiellement par des erreurs introduites volontairement.

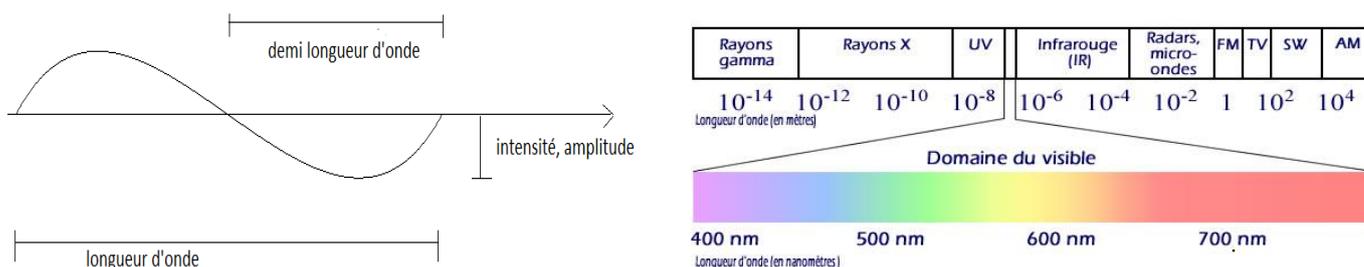
Différents mécanismes ont heureusement été développés pour résoudre ce problème. Un de ceux-ci est la duplication des traitements, c'est-à-dire l'envoi à plusieurs volontaires des mêmes données, et la comparaison des résultats obtenus, pour essayer de déterminer par vote à la majorité quelles sont les réponses correctes. C'est cette solution qui est utilisée par SETI@home et étudiée dans le cadre de cette présentation. D'autres techniques comprennent notamment des tests ou quizz, dans lesquels les participants sont périodiquement testés par l'envoi de données dont l'équipe scientifique connaît en fait déjà les résultats.

## Faire la lumière sur l'espace et l'atmosphère

### La spectroscopie

La spectroscopie est une méthode de détection chimique basée sur l'analyse de la lumière émise ou absorbée par un composé.

La lumière que l'œil humain peut percevoir est appelée lumière visible et ne constitue qu'une toute petite partie de la totalité du rayonnement électromagnétique. Les longueurs d'onde de la lumière visible se situent entre 400nm (bleu) et 750nm (rouge). Lorsque l'on diffracte la lumière blanche à l'aide d'un prisme, on obtient un spectre lumineux qui correspond à l'ensemble des couleurs de l'arc-en-ciel. On appelle cela un spectre continu.



La spectroscopie se base sur le fait que chaque atome ou molécule absorbe et émet de la lumière à des longueurs d'onde bien précises. Ces émissions ou absorptions lumineuses forment ce que l'on appelle un spectre, véritable empreinte digitale de ces atomes ou molécules.

Lorsque l'on diffracte la lumière venant d'un corps lumineux (une étoile par exemple), on obtient un spectre d'émission. Comme chaque élément émet un rayonnement à une longueur d'onde différente, nous pouvons déterminer quels sont les éléments qui constituent le corps observé en analysant les raies spectrales obtenues. Par exemple, si le corps est constitué de sodium, nous observons une raie lumineuse dans le jaune. Par ailleurs, s'il est constitué de mercure, nous observons plusieurs raies lumineuses car celui-ci émet à plusieurs longueurs d'onde.



De la même manière, si l'on diffracte la lumière traversant un corps (un « gaz » comme l'atmosphère par exemple), nous obtenons un spectre d'absorption. Comme chaque élément n'absorbe que certaines longueurs d'onde précises du rayonnement, celles-ci seront manquantes dans le spectre obtenu. Ainsi, en fonction des longueurs d'onde manquantes, nous pouvons déterminer la composition du corps.



Le spectre d'absorption est complémentaire au spectre d'émission. En effet, un élément absorbant à une certaine longueur d'onde réémettra exactement à cette même longueur d'onde. Généralement, nous obtiendrons un mélange des deux sortes de spectres.

Une des difficultés de la spectroscopie est l'analyse des interférences dans les spectres. En effet, comment étudier le spectre d'émission d'une étoile, sachant que la lumière qu'elle produit doit traverser toute une série de gaz avant d'arriver à la surface de la Terre ?

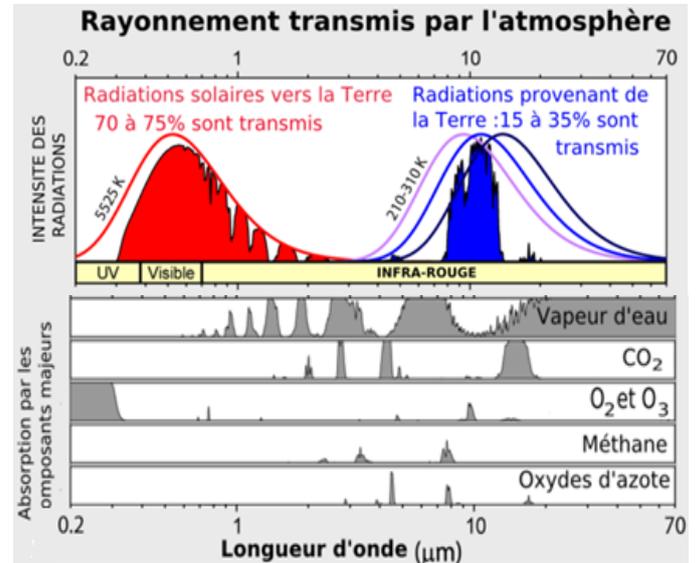
La découverte et l'optimisation de la spectroscopie ont amené une véritable révolution scientifique et ont permis une formidable avancée dans notre connaissance de l'espace. Cette technique a ouvert de nouveaux horizons et va très certainement encore évoluer dans les décennies à venir.

## Les gaz à effet de serre

Nous recevons tous les jours sur Terre une énergie venant des radiations solaires. De ces radiations, un peu plus de 30% sont réfléchis vers l'espace par les nuages, les divers aérosols contenus dans l'atmosphère, et les parties claires de la Terre. Les 70% restants seront donc absorbés par la Terre et par son atmosphère. Cette énergie sera ensuite réémise sous forme d'ondes infra rouges dans l'atmosphère. Celles-ci sont alors absorbées et réfléchies en partie par les gaz à effet de serre, ce qui réchauffe l'atmosphère ainsi que la surface de la Terre. Sans cet effet, la température moyenne à la surface de la Terre se situerait aux alentours de  $-19^{\circ}\text{C}$ . Pourtant, la température moyenne observée est de  $14^{\circ}\text{C}$ .

Les principaux gaz à effet de serre sont la vapeur d'eau (entre 60 et 80% de l'effet de serre total), le dioxyde de carbone (25 à 30%) et le méthane.

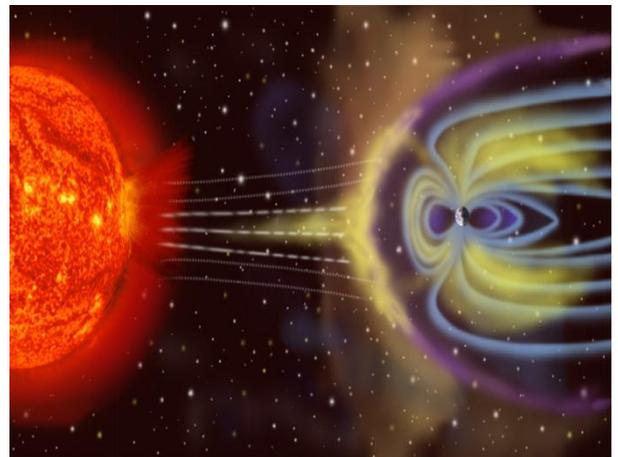
En cas d'une trop forte augmentation de la concentration de ces gaz dans l'atmosphère, un accroissement de la température de la Terre engendrera la disparition des glaces et surtout la libération de gaz à effet de serre actuellement fixés par le pergélisol, les hydrates de méthane marins, ou encore la disparition progressive de la biomasse.



Robert A. Rohde, University of California, Berkeley

## Aurores polaires

Le Soleil est une grosse masse gazeuse. Il émet de la lumière, mais aussi de la matière (proton, électron, hélium<sup>+</sup>, hélium<sup>++</sup> etc.). Ce flux de matière éjectée s'appelle le vent solaire. Parfois, lors d'explosions dans l'atmosphère du Soleil, ce vent solaire est plus intense. La masse de particules envoyée à travers l'espace est alors plus importante. Lorsque le vent solaire arrive près de la Terre, il est dévié par son champ magnétique jusqu'aux pôles.



[http://www.futura-sciences.com/uploads/tx\\_oxcsfutura/cluster\\_ventsolaire\\_esa\\_02.jpg](http://www.futura-sciences.com/uploads/tx_oxcsfutura/cluster_ventsolaire_esa_02.jpg)

Là, le champ magnétique, et donc la matière du vent solaire, se dirige vers le centre de la Terre. Les ions et atomes entrent en collision avec les éléments de l'atmosphère. A cause de ces chocs, les atomes et ions du vent solaire reçoivent un trop-plein d'énergie. Ils se déséxcitent en émettant de la lumière visible. C'est ainsi que nous observons des aurores polaires.



Aurore boréale du 11 septembre 2010, NASA

# iGalaxy's Life

## Introduction :

Ce projet consiste à créer un jeu dans lequel plusieurs joueurs partent à la conquête de plusieurs planètes à l'aide de différents vaisseaux.

## Composants du jeu :

Le jeu est composé de :

- une galaxie,
- trois types de planètes : QG, colonisable et exploitable,
- deux types de vaisseaux : X-plorer et C-ollector,
- 5 joueurs.

Le jeu dispose de :

- une carte de jeu contenant les planètes et vaisseaux,
- différents classements de joueurs : un, selon le nombre de planètes colonisées et un autre, selon le nombre d'ingals (monnaie intergalactique),
- toutes les informations relatives à chaque joueur, chaque planète et chaque vaisseau.

## Mise en œuvre :

Pour pouvoir lancer l'application, il faut disposer d'au moins un ordinateur sur lequel on peut lancer le serveur et sur lequel on peut ensuite connecter les différents clients. Ceci s'opère simplement via les commandes écrites dans le terminal (sous Linux). Il s'agit donc d'une transformation du code C++, fourni par les étudiants, en un code exécutable par les ordinateurs. Il a donc fallu implémenter une interface texte et une interface graphique en langage C++ pour que l'utilisateur puisse voir son jeu s'afficher à l'écran.

## Principe :

Au départ de la partie, chaque joueur dispose d'une planète principale, le QG, d'où partent dans un premier temps les vaisseaux propres à chacun, d'un certain nombre d'hommes et de plusieurs vaisseaux. Chacun a aussi accès aux coordonnées des planètes sans pour autant savoir quel est son type. De ce fait, les joueurs seront obligés d'envoyer leurs vaisseaux sur les planètes pour savoir quel avantage ils peuvent en tirer. Pour ce type de découverte, le joueur envoie un vaisseau de type X-plorer. Lors de cette découverte, s'il y a déjà un joueur présent sur cette planète et qu'il veut quand même en devenir le propriétaire, l'explorateur peut s'engager dans une négociation avec l'occupant présent. Par contre, s'il arrive sur une planète exploitable (planète contenant des ressources), il peut envoyer un vaisseau de type C-ollector pour récolter des ressources, qui seront ensuite converties en ingals, sans vraiment se préoccuper de savoir s'il y a déjà quelqu'un de présent sur cette planète.

## But du jeu :

Le but est donc de récolter le plus de ressources possible, donc d'avoir plus d'ingals que tous les autres joueurs et/ou d'avoir le plus de planètes colonisables. Le gagnant du jeu est déterminé selon ces deux classements.

La fin du jeu est signalée lorsqu'il ne reste plus aucune planète exploitable (nombre de ressources est égal à zéro) ou lorsqu'un joueur décide de quitter la partie et de se déconnecter.