

La Courbure de l'Espace-Temps dans les Dimensions Potentielles

L'Architech (Gabriel Breton-Breault)

Introduction

La représentation de la courbure de l'espace-temps constitue l'un des problèmes les plus difficiles à visualiser en physique. Les représentations bidimensionnelles permettent d'en donner une image intuitive, mais elles ne montrent pas directement une géométrie agissant simultanément dans toutes les directions de l'espace.

La physique directionnelle propose une autre approche. Elle commence non pas par la courbure elle-même, mais par une redéfinition de la **dimension**.

Dans le modèle des dimensions potentielles, une dimension n'est pas limitée à un axe fixe tel que X , Y ou Z . Elle correspond à une possibilité directionnelle accessible depuis une position. Une position et la direction qui lui est associée constituent ainsi les éléments fondamentaux de la structure dimensionnelle.

Cette conception permet de représenter l'espace autour d'un point par une sphère. Le centre constitue l'origine directionnelle, tandis que la surface de la sphère représente l'ensemble des directions accessibles depuis cette origine. Cette construction constitue déjà l'un des fondements de Les Dimensions Potentielles.

Lorsque plusieurs sphères sont considérées successivement, une structure spatiale apparaît. Chaque surface représente un nouveau niveau de positions et de directions. Leur taille, leur espacement et leur densité peuvent varier selon la structure locale de l'espace.

Autour d'une masse, cette succession ne doit donc pas nécessairement être considérée comme une série uniforme de surfaces indépendantes. Dans le cadre directionnel, la densité locale intervient également dans la géométrie. Les Dimensions Dynamiques — Géométrie Vivante de l'Espace développe déjà le principe selon lequel une variation de densité directionnelle accompagne une modification des directions internes.

La courbure peut alors être visualisée d'une manière différente.

Dans une représentation tridimensionnelle, l'espace est construit à partir de **surfaces sphériques successives**. Dans une coupe bidimensionnelle, ces surfaces deviennent des **cercles**. Sur chacun de ces cercles, des positions correspondantes peuvent être identifiées. Lorsque ces positions sont suivies successivement, elles forment une ligne. Si leur orientation varie d'un niveau au suivant, cette ligne devient une **courbe**.

Dans la géométrie directionnelle, cette courbe représente une **dimension courbée**.

La courbure n'est donc plus envisagée uniquement comme la déformation d'une surface extérieure à la dimension. Elle peut émerger directement de la succession et de la transformation des **positions-directions qui constituent la dimension elle-même**.

Cette construction permet également d'étudier plusieurs masses. Dans un système tel que la Terre et la Lune, chaque corps peut être représenté par une structure de surfaces sphériques. Les relations entre ces surfaces produisent alors une géométrie commune dans la région séparant les deux corps. Une coupe de cette structure fait apparaître les cercles, les points de correspondance et finalement les courbes directionnelles.

L'objectif de ce document est de construire progressivement cette représentation.

Le **chapitre 1** établira la définition des **dimensions potentielles** et précisera leur rôle dans la description de l'espace.

Le **chapitre 2** développera la représentation tridimensionnelle fondée sur les **sphères directionnelles** et leurs surfaces successives.

Le **chapitre 3** montrera comment une coupe de ces sphères produit les **cercles directionnels** permettant d'étudier la géométrie en deux dimensions.

Le **chapitre 4** établira comment l'alignement et la succession des positions correspondantes sur ces cercles produisent des **courbes**, interprétées comme des dimensions courbées.

Enfin, le **chapitre 5** réunira sphères, cercles, positions, directions, courbes et densité afin de construire **l'ensemble géométrique de la courbure de l'espace-temps dans le cadre des dimensions potentielles**.

Ainsi, la courbure n'est plus seulement représentée comme la déformation d'un support géométrique. Elle devient la manifestation de l'organisation et de la transformation des dimensions directionnelles qui constituent l'espace.

En physique directionnelle, comprendre la courbure commence donc par comprendre ce qu'est une dimension.

Chapitre 1 — Les Dimensions Potentielles

La courbure de l'espace-temps dans la physique directionnelle repose d'abord sur une définition particulière de la dimension. Avant de représenter des sphères, des cercles ou des courbes, il est nécessaire de déterminer ce qu'une dimension représente dans ce cadre.

Dans les dimensions potentielles, une dimension n'est pas seulement un axe abstrait utilisé pour attribuer des coordonnées à une position. Elle représente une **possibilité directionnelle accessible depuis une position donnée**. L'espace peut alors être étudié non seulement selon son étendue, mais également selon le nombre et l'organisation des directions qu'il rend possibles.

Cette définition constitue le point de départ de la représentation directionnelle de la courbure.

1.1. La dimension comme position et direction

Dans ce modèle, une dimension associe deux propriétés fondamentales :

une position et une direction.

La position indique où se situe l'élément considéré dans l'espace. La direction indique la possibilité de déplacement associée à cette position.

Une dimension directionnelle peut donc être représentée conceptuellement par :

$$D_i = (P_i, \vec{d}_i)$$

où :

- P_i représente la position;
- $\vec{d}_i$ représente la direction associée à cette position;
- D_i représente la dimension directionnelle correspondante.

Cette définition permet de ne plus considérer la dimension comme obligatoirement rectiligne. Une direction peut changer d'orientation d'une position à une autre. Une succession de dimensions directionnelles peut donc former une trajectoire droite, courbe ou plus complexe.

1.2. Toutes les directions comme dimensions potentielles

À partir d'une position P , plusieurs directions peuvent être accessibles.

L'ensemble de ces possibilités constitue l'espace des **dimensions potentielles**.

L'idée est déjà formulée dans Les Dimensions Potentielles : la dimension y est définie comme une direction accessible et l'ensemble des dimensions potentielles comme l'ensemble des directions disponibles depuis un point.

Une distinction fondamentale apparaît alors entre deux concepts :

Dimension potentielle : direction que la géométrie rend possible.

Dimension effective : direction effectivement utilisée par un phénomène physique.

Dans le formalisme déjà établi, les dimensions effectives constituent donc un sous-ensemble des dimensions potentielles :

$$N_{eff} \leq D_{pot}$$

L'espace peut offrir un très grand nombre de possibilités directionnelles sans que toutes soient utilisées simultanément.

1.3. La sphère comme ensemble directionnel

La sphère constitue une représentation naturelle de cette définition.

Considérons un point central O . Depuis ce point, une direction peut être tracée vers chaque position distinguable de la surface d'une sphère entourant O .

Le centre représente alors **l'origine directionnelle**, tandis que la surface représente l'ensemble des orientations accessibles depuis cette origine. Cette interprétation est établie dans Les Dimensions Potentielles.

Ainsi, la sphère ne sert pas uniquement de forme géométrique. Elle devient une représentation de la **capacité directionnelle d'une position**.

Plus la résolution avec laquelle sa surface peut être distinguée est élevée, plus le nombre de directions potentielles pouvant être représentées augmente.

1.4. Granularité et nombre fini de dimensions

Si l'espace était parfaitement continu et qu'aucune limite de résolution n'existait, une surface pourrait théoriquement être subdivisée indéfiniment.

La physique directionnelle introduit au contraire l'hypothèse d'une **granularité minimale**.

Dans Les Dimensions Potentielles, cette construction utilise la longueur de Planck ℓ_P pour définir une aire élémentaire :

$$a_{min} = \ell_P^2$$

et le nombre de directions potentielles associées à une sphère de rayon R est alors défini par :

$$D_{pot}(R) = \frac{4\pi R^2}{\ell_p^2}$$

Dans ce modèle, une région de taille finie et de granularité minimale fixée possède donc une capacité directionnelle finie.

Cette propriété devient importante pour la courbure : lorsqu'on change d'échelle, on change également le nombre de possibilités directionnelles que le domaine peut contenir.

1.5. Une dimension n'est pas nécessairement rectiligne

La combinaison **position + direction** conduit à une conséquence essentielle.

Considérons une succession de dimensions :

$$D_1 = (P_1, \vec{d}_1)$$

$$D_2 = (P_2, \vec{d}_2)$$

$$D_3 = (P_3, \vec{d}_3)$$

...

Si les vecteurs directionnels conservent la même orientation, leur succession peut produire une structure rectiligne.

Mais si :

$$\vec{d}_1 \neq \vec{d}_2 \neq \vec{d}_3$$

et que cette variation est progressive, la succession des positions produit une **courbe**.

La dimension n'a donc pas besoin d'être imaginée comme un axe droit qui serait ensuite déformé.

Dans ce cadre, **la possibilité de courbure est déjà contenue dans la définition de la dimension**, puisque la direction associée aux positions peut varier.

Les Dimensions Dynamiques — Géométrie Vivante de l'Espace développe précisément cette idée en reliant la déformation des directions internes à la courbure des dimensions dans la géométrie directionnelle.

1.6. Densité directionnelle

Le nombre de directions ne suffit cependant pas à décrire complètement l'espace directionnel.

Il faut également considérer leur **densité**.

Les Dimensions Dynamiques — Géométrie Vivante de l'Espace introduit une densité directionnelle et associe ses variations à une contraction ou à un étirement de la structure directionnelle.

Cela signifie que deux régions possédant une géométrie extérieure comparable peuvent, dans le modèle, présenter des organisations directionnelles différentes.

Pour représenter la courbure de l'espace-temps, trois propriétés doivent donc être considérées conjointement :

position + direction + densité

La position indique où se trouve une dimension.

La direction indique son orientation.

La densité décrit l'organisation locale des possibilités directionnelles.

Cette combinaison constituera la base de la représentation géométrique développée dans les chapitres suivants.

1.7. Vers une représentation de la courbure

Cette définition permet maintenant de poser le principe central du document.

Si chaque position de l'espace possède des possibilités directionnelles, et si ces possibilités peuvent varier progressivement sous l'influence de la structure locale, alors l'ensemble des positions-directions peut former une géométrie courbe.

La courbure peut ainsi être construite à partir de la succession des dimensions elles-mêmes.

Il reste cependant à trouver une représentation permettant de visualiser simultanément toutes les directions accessibles autour d'une position.

Cette représentation sera la **sphère**.

Le prochain chapitre montrera comment une succession de sphères directionnelles permet de construire une représentation tridimensionnelle de l'espace autour d'une masse, avant de réduire cette géométrie en cercles puis en courbes dans les chapitres suivants.

Chapitre 2 — Les Sphères

Le chapitre précédent a établi le principe fondamental des dimensions potentielles : une dimension associe une **position** à une **direction**. Pour représenter simultanément l'ensemble des directions accessibles autour d'un point, la géométrie directionnelle utilise la sphère.

Cette représentation prolonge directement les principes développés dans *Les Dimensions Potentielles* et *Les Dimensions Dynamiques — Géométrie Vivante de l'Espace*. La sphère n'est pas considérée uniquement comme un objet géométrique. Elle devient un moyen de représenter la capacité directionnelle de l'espace autour d'une position.

2.1. Le centre comme origine directionnelle

Considérons une sphère S possédant un centre O et un rayon R .

Le centre O constitue l'origine directionnelle. Depuis cette position, une direction peut être tracée vers chaque position distinguable de la surface.

Une direction particulière peut être représentée par :

$$\vec{d}_i = \overrightarrow{OP_i}$$

où P_i représente une position située sur la surface de la sphère.

Selon la définition des dimensions potentielles, chaque position accessible sur cette surface correspond à une possibilité directionnelle depuis le centre.

La sphère permet donc de représenter simultanément :

- une origine;
- une distance depuis cette origine;
- un ensemble de positions;
- un ensemble de directions potentielles.

La dimension n'est plus limitée à un axe rectiligne. Les possibilités directionnelles entourent complètement la position considérée.

2.2. La surface comme dimension directionnelle

La surface sphérique possède une fonction particulière dans cette représentation.

Tous ses points se trouvent à une distance déterminée du centre, mais chacun correspond à une orientation différente.

La surface constitue donc un **niveau directionnel**.

Cette conception rejoint le principe développé dans *Les Dimensions Potentielles*, où la surface de la sphère représente l'ensemble des orientations accessibles depuis son centre.

Une seule sphère ne représente cependant qu'un niveau de la structure.

Pour représenter l'espace au-delà de cette surface, il faut introduire une deuxième sphère, puis une troisième, puis continuer cette construction.

On obtient alors :

$$S_0, S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$$

avec des rayons successifs :

$$R_0 < R_1 < R_2 < R_3 < \dots < R_n$$

L'espace peut ainsi être représenté comme une succession de surfaces sphériques.

2.3. La croissance des sphères

La surface d'une sphère augmente avec son rayon :

$$A(R) = 4\pi R^2$$

Une sphère plus grande possède donc une surface plus importante.

Dans le modèle des dimensions potentielles, cette augmentation possède également une interprétation directionnelle. Si une granularité minimale est conservée, une surface plus grande permet de distinguer davantage de positions et donc davantage de directions potentielles.

Dans *Les Dimensions Potentielles*, cette capacité directionnelle est exprimée par :

$$D_{pot}(R) = \frac{4\pi R^2}{\ell_p^2}$$

lorsque l'aire minimale est définie à partir de la longueur de Planck.

Le rayon de la sphère influence ainsi directement sa capacité directionnelle.

Plus la sphère augmente, plus le nombre de dimensions potentielles qu'elle peut contenir augmente.

La taille de l'espace et sa richesse directionnelle deviennent ainsi liées.

2.4. Une succession de sphères

Considérons maintenant plusieurs sphères possédant le même centre :

$$S(R_0), S(R_1), S(R_2), \dots, S(R_n)$$

Chaque surface représente une nouvelle position possible selon la profondeur considérée, ainsi qu'un nouvel ensemble de directions potentielles.

Pour une orientation déterminée, il devient alors possible d'identifier un point correspondant sur chacune des surfaces :

$$P_0 \in S_0$$

$$P_1 \in S_1$$

$$P_2 \in S_2$$

...

Ces points ne sont pas indépendants. Ils peuvent appartenir à une même continuité directionnelle traversant les différentes surfaces.

Cela signifie que la géométrie complète n'est pas constituée seulement de sphères.

Elle est également constituée des **relations directionnelles entre leurs différentes positions**.

C'est cette propriété qui permettra plus tard de faire apparaître les dimensions courbées.

2.5. La profondeur comme structure dimensionnelle

La succession des sphères introduit également la notion de profondeur.

Une première sphère représente un niveau. Une deuxième sphère représente un niveau différent. En répétant l'opération, une structure tridimensionnelle apparaît.

La profondeur n'est donc pas extérieure aux surfaces. Elle est produite par leur succession.

On peut représenter cette progression par :

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow S_3 \rightarrow \dots$$

Chaque transition correspond à une nouvelle position dans la profondeur de la structure.

La géométrie directionnelle obtient ainsi une représentation dans laquelle **surface et profondeur participent ensemble à la construction de l'espace**.

2.6. La densité des sphères

Cependant, une succession parfaitement régulière de sphères ne suffit pas pour représenter la courbure proposée dans la physique directionnelle.

Il faut également considérer la **densité directionnelle**.

Dans *Les Dimensions Dynamiques — Géométrie Vivante de l'Espace*, la densité directionnelle intervient dans la contraction et l'étirement de la structure directionnelle.

Une région plus dense ne doit donc pas être représentée exactement de la même manière qu'une région moins dense.

La géométrie doit tenir compte simultanément :

- du rayon de la sphère;
- de sa surface;
- du nombre de directions potentielles;
- de la densité directionnelle;
- de la relation avec les surfaces voisines.

Ainsi, deux niveaux successifs ne sont pas seulement caractérisés par leur rayon. Leur relation dépend également de l'état directionnel de l'espace qui les sépare.

Cette propriété devient essentielle lorsqu'une masse est introduite.

2.7. Les sphères autour d'une masse

Considérons maintenant un corps sphérique tel qu'une planète ou une étoile.

Une première surface directionnelle peut être associée à sa région extérieure. Une autre surface est ensuite considérée à l'intervalle suivant, puis une autre, et ainsi de suite.

La masse se retrouve entourée d'une succession de sphères :

$$S_0 \rightarrow S_1 \rightarrow S_2 \rightarrow \cdots \rightarrow S_n$$

La représentation obtenue possède une propriété fondamentale : **elle existe dans toutes les directions autour de la masse.**

Il n'existe aucun enfoncement privilégié vers le bas.

Il n'existe aucune feuille sur laquelle la masse doit être déposée.

La géométrie est entièrement volumétrique.

Chaque orientation autour du centre traverse une succession de surfaces et de positions directionnelles.

Dans le cadre développé dans *Les Dimensions Dynamiques — Géométrie Vivante de l'Espace*, la présence de matière est associée à une modification de la structure et de la densité directionnelles. La succession des sphères doit donc refléter cette évolution.

2.8. Deux masses et deux structures sphériques

La construction peut ensuite être étendue à deux masses.

Considérons deux corps *A* et *B*.

Le premier possède sa propre succession de surfaces :

$$S_{A,0}, S_{A,1}, S_{A,2}, \dots$$

Le second possède également la sienne :

$$S_{B,0}, S_{B,1}, S_{B,2}, \dots$$

À mesure que les sphères augmentent, les deux structures occupent progressivement la région située entre les masses.

Les surfaces provenant des deux systèmes peuvent alors se rencontrer et former une structure géométrique commune.

Le système Terre-Lune peut être représenté de cette manière.

La Terre possède une famille de surfaces sphériques. La Lune possède également sa famille de surfaces. Entre les deux corps, les surfaces associées aux différentes positions de l'espace se raccordent dans une même géométrie directionnelle.

La courbure n'est alors plus représentée comme deux creux dessinés sur une feuille.

Elle apparaît dans **l'organisation tridimensionnelle des surfaces et des directions reliant les deux masses.**

2.9. Les points de contact et la continuité dimensionnelle

Les relations entre les différentes surfaces deviennent particulièrement importantes.

Chaque point d'une sphère représente une position-direction. Lorsqu'une continuité existe avec la surface suivante, un nouveau point peut lui être associé.

On obtient :

$$P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots$$

En répétant cette construction pour toutes les orientations possibles, l'espace entier peut être envisagé comme un ensemble de continuités entre les surfaces.

Si ces points demeurent parfaitement alignés, la dimension correspondante conserve une forme rectiligne.

Si leurs positions relatives changent progressivement sous l'effet de la géométrie et de la densité directionnelles, leur alignement change également.

Une courbure commence alors à apparaître.

Cependant, cette courbure reste difficile à observer directement lorsque toutes les sphères tridimensionnelles sont représentées simultanément.

Il devient donc utile de réduire temporairement cette géométrie tridimensionnelle à une représentation bidimensionnelle.

Une coupe plane traversant une sphère fait apparaître un cercle.

Une succession de sphères devient ainsi une succession de cercles.

Ces cercles permettront d'isoler les points correspondants, d'observer leur changement de position et finalement de reconstruire visuellement la courbe constituant une dimension directionnelle.

Cette transformation constituera l'objet du **chapitre 3 : Les Cercles.**

Chapitre 3 — Les Cercles

Le chapitre précédent a présenté les sphères comme une représentation tridimensionnelle de la structure directionnelle de l'espace. Chaque surface sphérique constitue un niveau permettant de représenter un ensemble de positions et de directions autour d'un centre.

Pour observer plus simplement la relation entre ces surfaces et comprendre comment une dimension courbée peut apparaître, il est possible de prendre une **coupe bidimensionnelle** de la construction tridimensionnelle.

Dans cette coupe, les surfaces sphériques deviennent des **cercles**.

Le cercle n'est donc pas une structure indépendante de la sphère. Il représente la manifestation en deux dimensions d'une géométrie qui demeure fondamentalement tridimensionnelle.

3.1. De la sphère au cercle

Considérons une sphère S traversée par un plan passant par son centre.

La section obtenue forme un cercle C .

On peut représenter cette transformation par :

$$S \rightarrow C$$

La sphère permet de considérer les directions autour du centre dans l'ensemble de l'espace tridimensionnel. Le cercle sélectionne seulement les directions appartenant au plan de coupe.

Cette réduction permet d'observer la structure sans modifier son principe fondamental.

Le cercle doit donc toujours être interprété comme **la coupe d'une surface sphérique**.

3.2. Une succession de sphères devient une succession de cercles

Considérons maintenant les surfaces successives développées au chapitre précédent :

$$S_0, S_1, S_2, S_3, \dots, S_n$$

Si le même plan traverse l'ensemble de cette construction, chaque sphère produit un cercle :

$$C_0, C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$$

avec :

$$S_i \rightarrow C_i$$

La construction tridimensionnelle peut ainsi être étudiée sous une forme bidimensionnelle beaucoup plus simple.

Chaque cercle représente un niveau particulier de la structure directionnelle.

La succession des cercles représente la succession des surfaces sphériques observée dans un même plan.

3.3. Le cercle comme structure directionnelle fermée

Le cercle possède une propriété essentielle pour la géométrie directionnelle : il est **fini mais fermé sur lui-même**.

En parcourant sa circonférence, une position peut continuellement changer tout en demeurant sur la même structure. Après un parcours complet, le déplacement revient à son point d'origine.

La direction évolue donc continuellement le long de la circonférence sans nécessiter de frontière terminale.

Cela illustre une propriété importante des dimensions directionnelles :

une dimension peut être finie sans nécessairement posséder une extrémité.

La continuité de la dimension ne dépend donc pas de sa rectitude.

Elle dépend de la continuité des positions et des directions qui la constituent.

3.4. Les positions-direction sur un cercle

Prenons maintenant une position P_i sur un cercle C_i .

Cette position possède également une direction locale $\vec{d}_i$.

Une dimension directionnelle peut ainsi être représentée par :

$$D_i = (P_i, \vec{d}_i)$$

La position indique où se trouve l'élément directionnel sur le cercle.

La direction indique comment la continuité peut se poursuivre depuis cette position.

Chaque cercle contient donc un ensemble de positions-direction.

Si le cercle est subdivisé selon une granularité minimale, les positions distinguables sur sa circonférence deviennent également distinguables directionnellement.

Le cercle devient ainsi une représentation bidimensionnelle de la capacité directionnelle du niveau considéré.

3.5. Les points correspondants entre les cercles

Considérons plusieurs cercles successifs :

$$C_0, C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$$

Une même continuité directionnelle peut être suivie en sélectionnant une position correspondante sur chacun :

$$P_0 \in C_0$$

$$P_1 \in C_1$$

$$P_2 \in C_2$$

$$P_3 \in C_3$$

et ainsi de suite.

On obtient alors :

$$P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots \rightarrow P_n$$

Ces points représentent différentes positions successives d'une même continuité directionnelle.

C'est cette succession qui permettra de passer d'un ensemble de cercles à une dimension identifiable.

3.6. Variation de la taille des cercles

Les cercles ne doivent pas nécessairement posséder des rayons identiques.

Puisqu'ils représentent différentes surfaces sphériques de la construction tridimensionnelle, leur taille dépend de la géométrie représentée.

On peut donc obtenir :

$$R_0 < R_1 < R_2 < R_3$$

ou, dans une structure plus complexe, une succession dans laquelle le rayon augmente puis diminue.

Cette variation devient particulièrement importante lorsqu'on cherche à représenter l'espace entre deux masses.

Dans le modèle directionnel, l'évolution de la taille des cercles permet de représenter les transformations successives de la géométrie reliant différentes régions.

3.7. La densité directionnelle

La taille des cercles ne suffit cependant pas à représenter entièrement la structure.

Il faut également tenir compte de la **densité directionnelle**.

Deux régions peuvent posséder des géométries similaires tout en présentant des densités différentes.

Pour chaque niveau i , la représentation doit donc considérer simultanément :

$$C_i, P_i, \rho_i$$

où :

- C_i représente le cercle associé au niveau;
- P_i représente la position-direction considérée;
- ρ_i représente la densité directionnelle locale.

La représentation des cercles devient ainsi un moyen d'étudier non seulement les formes géométriques, mais aussi la manière dont les positions-direction sont réparties entre les différents niveaux.

3.8. Deux masses dans la représentation 2D

Considérons maintenant deux masses, comme la Terre et la Lune.

Dans la construction tridimensionnelle, chacune est associée à des surfaces sphériques. Ces surfaces appartiennent au même espace et leurs relations participent à la géométrie de la région située entre les deux corps.

Lorsqu'un plan coupe cette construction, les surfaces apparaissent sous forme de cercles.

La représentation bidimensionnelle peut alors être construite comme une succession de cercles reliant progressivement les deux régions.

La taille des cercles peut évoluer depuis l'échelle associée à la Terre jusqu'à celle associée à la Lune.

Il est cependant essentiel de conserver l'interprétation tridimensionnelle :

les cercles visibles dans le dessin ne sont pas l'espace lui-même. Ils représentent des coupes des surfaces sphériques constituant la construction tridimensionnelle.

La représentation 2D devient ainsi une fenêtre permettant d'observer une portion particulière de la géométrie complète.

3.9. Le cercle comme point de contact de la représentation

Dans la construction tridimensionnelle, ce sont les **surfaces des sphères** et leurs relations qui déterminent la structure.

Lorsqu'on réduit cette géométrie dans un plan, les relations entre les surfaces apparaissent à travers les cercles.

Les points correspondants sur ces cercles deviennent alors particulièrement importants.

Chaque point représente une position appartenant à une surface tridimensionnelle, mais observée dans le plan de coupe.

Ainsi, une série de points :

$$P_0, P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$$

ne constitue pas simplement un ensemble arbitraire de coordonnées.

Chaque point conserve derrière lui une information tridimensionnelle : **le point appartient à la coupe d'une surface sphérique et représente une position-direction de cette surface.**

3.10. Des cercles vers la courbe

Nous pouvons maintenant observer les points successifs sans afficher toute la circonférence de chaque cercle.

Si les points sont reliés :

$$P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots \rightarrow P_n$$

une ligne apparaît.

Si les positions évoluent sans changement directionnel, cette ligne peut demeurer droite.

Cependant, si les positions-direction changent progressivement d'un cercle à l'autre, la ligne change elle aussi progressivement d'orientation.

Elle devient une **courbe**.

La construction complète peut alors être résumée ainsi :

sphères → cercles → positions-direction → courbe

Les sphères représentent la structure tridimensionnelle.

Les cercles représentent une coupe bidimensionnelle de cette structure.

Les points isolent une continuité directionnelle particulière.

La courbe révèle finalement la forme prise par cette continuité à travers l'espace.

Cette dernière étape est fondamentale, car elle permettra d'établir une représentation géométrique directe de ce que la physique directionnelle définit comme une **dimension courbée**.

Le chapitre suivant développera donc le **Chapitre 4 — Les Courbes**.

Chapitre 4 — Les Courbes

Les chapitres précédents ont construit progressivement la représentation géométrique des dimensions potentielles. Les sphères permettent de représenter l'ensemble des directions autour d'une position dans un espace tridimensionnel. Les cercles constituent une coupe bidimensionnelle de ces surfaces. Il devient maintenant possible d'isoler des positions correspondantes sur chaque cercle et de les relier.

Cette opération fait apparaître la **courbe**.

Dans la physique directionnelle, cette courbe possède une signification particulière. Elle ne représente pas simplement la trajectoire d'un objet traversant un espace déjà courbé. Elle peut représenter la forme même d'une **dimension directionnelle**, construite par la continuité d'une succession de positions et de directions.

La courbure devient ainsi une propriété géométrique de l'organisation des dimensions potentielles.

4.1. De la position à la continuité directionnelle

Considérons une succession de cercles :

$$C_0, C_1, C_2, C_3, \dots, C_n$$

Sur chacun de ces cercles, une position-direction correspondante est identifiée :

$$D_i = (P_i, \vec{d}_i)$$

On obtient alors :

$$P_0, P_1, P_2, P_3, \dots, P_n$$

Pris séparément, ces points décrivent différentes positions de la structure.

Mais lorsqu'une continuité directionnelle existe entre ces positions, ils peuvent être reliés :

$$P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow P_3 \rightarrow \dots \rightarrow P_n$$

Une ligne géométrique apparaît.

Cette ligne représente la continuité d'une direction à travers plusieurs niveaux successifs de la structure.

4.2. La ligne droite comme cas particulier

Si les points successifs conservent exactement la même orientation, la ligne obtenue est droite.

On peut représenter cette situation par une direction constante :

$$\vec{d}_{i+1} = \vec{d}_i$$

Dans ce cas, les différentes positions restent alignées selon une même orientation.

La ligne droite devient donc un **cas particulier** de la dimension directionnelle : celui pour lequel la direction ne change pas au cours de la succession des positions.

Cette distinction est importante.

Dans le modèle directionnel, une dimension n'a pas besoin d'être définie comme étant droite. La rectitude représente simplement un état particulier de sa géométrie.

4.3. Apparition de la courbure

Considérons maintenant une situation différente.

La direction change légèrement entre deux positions successives :

$$\vec{d}_{i+1} \neq \vec{d}_i$$

Si cette modification se poursuit progressivement :

$$\vec{d}_0 \rightarrow \vec{d}_1 \rightarrow \vec{d}_2 \rightarrow \vec{d}_3 \rightarrow \dots$$

la succession des positions cesse d'être rectiligne.

Une courbe apparaît.

La courbure peut donc être interprétée, dans ce cadre, comme une **variation progressive de la direction associée aux positions successives d'une même continuité dimensionnelle**.

La dimension n'est pas un axe droit qui aurait été physiquement plié.

Elle est construite dès le départ par une succession de positions-directions.

Si les directions changent, la dimension est courbe.

4.4. Une dimension courbée

Cette construction permet de préciser la définition d'une dimension courbée dans la physique directionnelle.

Une dimension courbée peut être définie comme :

Une continuité de positions-directions dont l'orientation varie progressivement à travers l'espace.

Soit une succession :

$$D_0, D_1, D_2, \dots, D_n$$

avec :

$$D_i = (P_i, \vec{d}_i)$$

La forme globale de cette dimension dépend alors de l'évolution des vecteurs $\vec{d}_i$.

Une direction constante produit une continuité rectiligne.

Une direction variable produit une continuité courbe.

La courbure n'est donc pas ajoutée après la définition de la dimension. **Elle émerge directement de la manière dont les positions et les directions sont organisées.**

4.5. Les cercles révèlent la courbe

La représentation par cercles permet maintenant de comprendre pourquoi ils étaient nécessaires.

Chaque cercle fournit un niveau différent de la construction.

Sur chacun se trouve une position correspondant à la continuité étudiée.

Lorsque les cercles sont affichés, la structure complète peut être observée :

$$C_0, C_1, C_2, \dots, C_n$$

avec leurs points :

$$P_0, P_1, P_2, \dots, P_n$$

Lorsque les cercles sont ensuite mentalement retirés et que seuls les points correspondants sont conservés, il reste :

$$P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \dots \rightarrow P_n$$

La courbe obtenue révèle alors la forme de la dimension étudiée.

Les cercles jouent donc le rôle de **structure intermédiaire permettant de construire et de localiser les points de la dimension**.

4.6. La densité modifie la géométrie

La courbure ne doit cependant pas être étudiée indépendamment de la densité directionnelle.

Dans le modèle, une modification de la densité change l'organisation locale des dimensions.

On peut représenter cette densité par :

$$\rho(P)$$

La densité devient alors une propriété locale dépendant de la position considérée.

Lorsque :

$$\rho(P_1) \neq \rho(P_2)$$

les deux régions ne possèdent pas nécessairement la même organisation directionnelle.

Les positions successives et leur espacement peuvent donc être affectés par cette variation.

La représentation complète de la dimension courbée doit ainsi considérer :

$$D_i = (P_i, \vec{d}_i, \rho_i)$$

La courbe contient alors trois informations fondamentales :

- la position;
- la direction;
- la densité locale.

Dans cette représentation, la courbure et la densification deviennent deux propriétés reliées de la géométrie directionnelle.

4.7. La courbure autour d'une masse

Autour d'une masse sphérique, les positions-directions existent dans toutes les orientations.

Il ne faut donc pas imaginer une seule courbe.

Prenons une première orientation :

$$D_0^{(1)} \rightarrow D_1^{(1)} \rightarrow D_2^{(1)} \rightarrow \dots$$

Puis une deuxième :

$$D_0^{(2)} \rightarrow D_1^{(2)} \rightarrow D_2^{(2)} \rightarrow \dots$$

Puis une troisième, et ainsi de suite.

Chaque série peut produire sa propre courbe.

L'ensemble des courbes entourant la masse représente alors la transformation de la structure directionnelle dans toutes les orientations accessibles.

La courbure devient **omnidirectionnelle** dans la représentation.

Ce principe permet d'éviter l'interprétation selon laquelle l'espace devrait physiquement se courber vers une direction privilégiée.

Dans ce modèle, la courbure existe simultanément autour de la masse.

4.8. La courbure entre deux masses

Considérons maintenant deux masses telles que la Terre et la Lune.

Dans la construction tridimensionnelle, chacune participe à une structure de surfaces sphériques.

Dans la représentation bidimensionnelle, ces surfaces apparaissent sous forme de cercles.

Les positions correspondantes peuvent ensuite être suivies depuis la région associée à la Terre jusqu'à celle associée à la Lune :

$$P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \dots \rightarrow P_n$$

Lorsque les cercles changent progressivement de géométrie et que la densité directionnelle varie, la succession des positions peut produire une courbe.

Cette courbe constitue une représentation bidimensionnelle de la continuité dimensionnelle entre les deux régions.

Il ne s'agit cependant toujours que d'une coupe.

Dans la construction complète, ce même raisonnement peut être appliqué dans les différentes orientations spatiales.

On passe alors d'une courbe isolée à **un ensemble tridimensionnel de dimensions courbées**.

4.9. Courbure locale et courbure globale

Cette construction permet également de distinguer deux niveaux de description.

Courbure locale

La courbure locale correspond au changement observé entre des positions successives très proches :

$$\vec{d}_i \rightarrow \vec{d}_{i+1}$$

Cette variation peut être très faible.

Courbure globale

Lorsque toutes les petites variations locales sont considérées successivement, une forme globale apparaît :

$$D_0 \rightarrow D_1 \rightarrow D_2 \rightarrow \dots \rightarrow D_n$$

Une faible variation répétée sur un grand nombre de positions peut ainsi produire une courbe beaucoup plus importante à grande échelle.

La forme globale de la dimension résulte donc de **l'accumulation des variations directionnelles locales**.

4.10. Mesurer la courbure directionnelle

Cette définition ouvre également la possibilité d'introduire une mesure de la courbure propre au modèle.

Entre deux positions successives, on peut considérer le changement d'orientation :

$$\Delta\theta_i = \theta_{i+1} - \theta_i$$

Si :

$$\Delta\theta_i = 0$$

la direction locale demeure rectiligne.

Si :

$$\Delta\theta_i \neq 0$$

une variation directionnelle existe.

La courbure peut alors être reliée à la variation de l'orientation par rapport à la distance directionnelle parcourue.

Une formulation conceptuelle peut être introduite :

$$\kappa = \frac{\Delta\theta}{\Delta s}$$

où :

- κ représente la courbure directionnelle locale;
- $\Delta\theta$ représente le changement d'orientation;
- Δs représente l'intervalle entre deux positions-direction.

Cette relation permet de traduire géométriquement une idée simple :

plus l'orientation change rapidement sur une petite distance, plus la courbure est importante.

4.11. La dimension comme courbe dans l'espace

La construction complète permet maintenant de revenir à la définition fondamentale.

Une dimension directionnelle n'est pas définie uniquement par son origine ou son orientation initiale.

Elle est définie par l'ensemble des positions-directions qui assurent sa continuité :

$$D = \{D_0, D_1, D_2, \dots, D_n\}$$

Sa géométrie dépend de l'organisation de cet ensemble.

Si les éléments restent alignés, la dimension est droite.

Si leur orientation varie, la dimension est courbe.

Si la structure se referme sur elle-même, la dimension peut être fermée.

La dimension devient ainsi une structure géométrique capable de prendre différentes formes selon l'organisation de ses positions et de ses directions.

4.12. Des courbes vers l'ensemble

Une seule courbe permet d'étudier une dimension particulière.

Mais elle ne représente pas encore toute la géométrie.

Chaque sphère contient un ensemble de positions potentielles. Chaque position peut appartenir à une continuité directionnelle. Chaque continuité peut produire sa propre courbe.

Il existe donc un ensemble :

$$\mathcal{C} = \{C_1, C_2, C_3, \dots, C_m\}$$

où chaque C_i représente une dimension courbée particulière de la construction.

La structure complète de l'espace directionnel n'est alors plus une seule courbe.

Elle correspond à **l'ensemble de toutes les courbes compatibles avec les positions, les directions et la densité de la région considérée.**

Nous obtenons ainsi la progression complète :

sphère → cercle → position-direction → courbe → ensemble de courbes

Le prochain et dernier chapitre réunira ces différents niveaux de représentation pour montrer comment leur combinaison constitue, dans le modèle des dimensions potentielles, une représentation complète de la courbure de l'espace-temps.

Chapitre 5 — L'Ensemble

Les chapitres précédents ont permis de construire progressivement la représentation de la courbure dans le cadre des dimensions potentielles. La sphère représente l'ensemble tridimensionnel des possibilités directionnelles autour d'une position. Le cercle constitue une coupe bidimensionnelle de cette structure. Les points permettent d'isoler des positions-directions particulières. Leur continuité forme finalement une courbe correspondant à une dimension courbée.

Une seule courbe ne représente cependant qu'une possibilité directionnelle particulière.

Pour obtenir la structure complète, il faut réunir **toutes les positions, toutes les directions, toutes les courbes et toutes les variations de densité** appartenant à la région considérée.

Cette réunion constitue **l'ensemble directionnel.**

La courbure de l'espace-temps peut alors être représentée non par une seule ligne ou une seule surface, mais par l'organisation collective d'un très grand nombre de dimensions directionnelles courbées.

5.1. De la courbe isolée à l'ensemble

Considérons une première dimension courbée :

$$D^{(1)} = \{P_0^{(1)}, P_1^{(1)}, P_2^{(1)}, \dots, P_n^{(1)}\}$$

Une deuxième continuité directionnelle peut également être construite :

$$D^{(2)} = \{P_0^{(2)}, P_1^{(2)}, P_2^{(2)}, \dots, P_n^{(2)}\}$$

Puis une troisième :

$$D^{(3)} = \{P_0^{(3)}, P_1^{(3)}, P_2^{(3)}, \dots, P_n^{(3)}\}$$

Le processus peut être répété pour l'ensemble des directions potentielles accessibles.

On obtient alors un ensemble :

$$\mathcal{D} = \{D^{(1)}, D^{(2)}, D^{(3)}, \dots, D^{(m)}\}$$

Chaque élément de $\mathcal{D}$ représente une continuité position-direction particulière.

L'espace directionnel complet correspond à leur organisation collective.

5.2. Toutes les directions autour d'un point

Autour d'une position donnée, une direction peut être définie selon toutes les orientations distinguables admises par la granularité du modèle.

Une courbe particulière ne représente donc qu'une fraction de cette capacité.

Pour reconstruire la géométrie complète, il faut considérer simultanément les continuités partant dans toutes les directions.

Une première dimension peut partir vers une orientation donnée.

Une deuxième peut partir selon une orientation légèrement différente.

Une troisième selon une autre orientation.

Lorsque l'ensemble est reconstruit, les courbes remplissent progressivement la structure directionnelle entourant la position.

La courbure n'apparaît alors plus comme **une courbe unique**.

Elle devient un **champ de dimensions courbées**.

5.3. Retour à la représentation tridimensionnelle

Les cercles ont permis de comprendre la construction en deux dimensions, mais cette représentation n'est qu'une coupe.

Dans la géométrie complète, chaque cercle correspond à la section d'une surface sphérique.

La succession :

cercle → cercle → cercle

doit donc être replacée dans sa forme tridimensionnelle :

sphère → sphère → sphère

De la même manière, la courbe observée dans un plan n'est qu'une dimension particulière parmi toutes celles pouvant être construites autour du centre.

La rotation du plan de coupe autour de la masse permet conceptuellement de retrouver les autres orientations.

On passe alors d'une famille de courbes visibles dans un plan à une structure volumétrique dans laquelle les dimensions courbées existent dans toutes les orientations.

5.4. La masse au centre de la structure

Considérons maintenant une masse sphérique M .

Autour de cette masse se trouve une succession de surfaces directionnelles :

$$S_0, S_1, S_2, \dots, S_n$$

Chaque surface possède ses positions potentielles.

Chaque position peut être reliée à une position correspondante sur une surface voisine.

Les continuités ainsi obtenues forment les dimensions directionnelles :

$$D^{(1)}, D^{(2)}, D^{(3)}, \dots$$

Si la structure locale modifie progressivement leurs orientations, ces dimensions deviennent courbes.

L'ensemble de ces dimensions forme alors une structure complète autour de la masse :

$$\mathcal{D}_M = \bigcup_i D^{(i)}$$

La masse n'est donc pas représentée comme un objet posé sur une surface qui s'enfonce.

Dans cette représentation, elle se trouve **au sein d'une géométrie directionnelle tridimensionnelle qui l'entoure complètement.**

5.5. Une courbure dans toutes les directions

Cette construction conduit à une propriété fondamentale du modèle.

Il n'existe pas une direction unique dans laquelle l'espace doit se courber.

Pour une masse sphérique idéale, la construction peut être répétée autour de tout le corps.

Une dimension peut être étudiée selon une première orientation.

Une autre selon une deuxième.

Puis une troisième.

Et ainsi de suite jusqu'à considérer l'ensemble des orientations distinguables.

La courbure devient donc omnidirectionnelle.

Chaque dimension locale peut présenter sa propre variation directionnelle, mais toutes appartiennent au même ensemble géométrique.

Ainsi, ce que l'on appelle globalement **courbure** correspond, dans cette représentation, à l'organisation simultanée de toutes ces variations directionnelles.

5.6. La densité comme composante de l'ensemble

L'ensemble ne peut toutefois pas être défini uniquement par la position et la direction.

La densité directionnelle doit également intervenir.

Chaque élément local peut donc être représenté par :

$$D_i = (P_i, \vec{d}_i, \rho_i)$$

où :

- P_i représente la position;
- $\vec{d}_i$ représente la direction;

- ρ_i représente la densité directionnelle locale.

L'ensemble devient alors une distribution de positions, de directions et de densités.

On peut l'écrire conceptuellement :

$$\mathcal{D} = \{(P_i, \vec{d}_i, \rho_i)\}$$

La forme de l'espace directionnel dépend ainsi non seulement de l'orientation des dimensions, mais aussi de la manière dont ces dimensions sont réparties localement.

La densification de l'espace et la courbure doivent donc être considérées conjointement dans la représentation complète.

5.7. Deux masses dans le même ensemble

Considérons maintenant la Terre et la Lune.

La Terre participe à une première organisation de surfaces sphériques.

La Lune participe à une seconde organisation.

Mais l'espace situé entre les deux corps n'est pas constitué de deux espaces complètement indépendants.

Les structures appartiennent au même ensemble directionnel.

Dans la représentation tridimensionnelle, les surfaces successives associées aux deux régions se rencontrent et se raccordent progressivement.

Dans une coupe bidimensionnelle, ces surfaces apparaissent sous forme de cercles.

Les points correspondants des différents cercles permettent ensuite de reconstruire les courbes.

Ces courbes permettent finalement de représenter les continuités dimensionnelles entre les régions terrestre et lunaire.

Ainsi, la représentation passe de deux structures sphériques locales à **une géométrie directionnelle commune**.

5.8. La continuité entre les masses

Entre deux masses, les différentes dimensions ne disparaissent pas brusquement pour réapparaître autour du second objet.

Elles appartiennent à une même construction spatiale.

On peut donc suivre une succession de positions :

$$P_0 \rightarrow P_1 \rightarrow P_2 \rightarrow \cdots \rightarrow P_n$$

depuis une région proche de la première masse jusqu'à une région proche de la seconde.

La direction locale peut varier tout au long de cette succession.

La densité peut également évoluer :

$$\rho_0 \rightarrow \rho_1 \rightarrow \rho_2 \rightarrow \cdots \rightarrow \rho_n$$

La géométrie entre les deux masses est alors décrite par l'évolution conjointe de :

la position, la direction et la densité.

C'est l'ensemble de ces évolutions qui détermine la forme directionnelle de la région.

5.9. L'espace-temps comme structure de dimensions courbées

La construction peut maintenant être généralisée.

Chaque région de l'espace possède un ensemble de dimensions potentielles.

Chaque dimension associe une position à une direction.

Les positions successives définissent des continuités.

Les variations de direction produisent des courbes.

Les variations de densité modifient l'organisation locale de ces continuités.

L'ensemble forme alors une structure directionnelle globale.

La courbure de l'espace-temps peut ainsi être représentée, dans ce modèle, comme :

l'organisation collective des dimensions position-direction et de leur densité dans une région donnée.

La courbure n'est plus réduite à l'image d'une surface déformée.

Elle correspond à une transformation de la structure directionnelle elle-même.

5.10. Du local au global

Une propriété importante apparaît alors.

Une très petite variation locale de direction peut sembler négligeable :

$$\Delta\theta_i \approx 0$$

Mais lorsqu'un très grand nombre de variations successives sont additionnées, leur effet global peut devenir important.

Une courbe macroscopique peut donc émerger d'une succession de transformations directionnelles extrêmement petites.

Le même principe s'applique à l'ensemble complet.

La géométrie globale autour d'une masse émerge de l'organisation d'un très grand nombre de transformations locales.

On obtient ainsi deux niveaux complémentaires :

niveau local :

$$P_i, \vec{d}_i, \rho_i$$

niveau global :

$$\mathcal{D} = \{D^{(1)}, D^{(2)}, \dots, D^{(m)}\}$$

Le premier décrit la structure élémentaire.

Le second décrit la géométrie produite par leur ensemble.

5.11. Une représentation complète

Les cinq éléments construits dans ce document peuvent maintenant être réunis.

Les dimensions potentielles définissent les possibilités directionnelles accessibles.

Les sphères représentent ces possibilités dans toutes les orientations autour d'un centre.

Les cercles permettent d'obtenir une coupe bidimensionnelle de la construction.

Les courbes apparaissent lorsque les positions-direction correspondantes sont reliées.

L'ensemble réunit toutes les courbes et toutes les densités dans une même structure tridimensionnelle.

La progression complète devient donc :

dimensions potentielles → sphères → cercles → courbes → ensemble directionnel

Chaque étape n'est pas indépendante de la précédente.

Elle constitue un changement d'échelle ou de représentation permettant progressivement de reconstruire la géométrie complète.

5.12. Définition synthétique de la courbure directionnelle de l'espace-temps

À partir de cette construction, une définition générale peut être proposée :

Dans le modèle des dimensions potentielles, la courbure de l'espace-temps correspond à l'organisation non rectiligne de l'ensemble des continuités position-direction constituant une région de l'espace, conjointement aux variations locales de leur densité directionnelle.

Cette définition contient les éléments développés tout au long du document :

position + direction + continuité + densité + ensemble

Une dimension individuelle peut être droite ou courbe.

Une région contient plusieurs dimensions.

Une masse influence l'organisation locale de ces dimensions dans le modèle.

Et l'ensemble de ces transformations constitue la géométrie directionnelle de la région.

5.13. Synthèse de la construction

La représentation peut finalement être comprise dans les deux sens.

En partant de la structure complète :

ensemble → courbes → cercles → sphères → dimensions potentielles

on décompose progressivement la géométrie pour comprendre ses constituants.

En partant de l'élément fondamental :

dimension potentielle → sphère → cercle → courbe → ensemble

on reconstruit progressivement la géométrie complète.

Ces deux lectures aboutissent au même principe :

La courbure globale émerge de l'organisation locale des positions et des directions.

La courbure n'est donc pas extérieure aux dimensions.

Dans ce cadre, elle est une propriété de leur organisation collective.

Conclusion du chapitre

L'ensemble constitue la dernière étape nécessaire pour passer d'une dimension individuelle à une représentation globale de la courbure.

Une sphère seule représente les directions d'un niveau.

Un cercle seul représente une coupe.

Une courbe seule représente une continuité directionnelle.

Mais lorsque toutes ces continuités sont réunies, la géométrie complète apparaît.

Dans le cadre développé ici, l'espace devient ainsi un réseau géométrique de **positions-directions dont l'orientation et la densité peuvent varier localement**.

Une masse n'est plus représentée comme un objet enfonçant une feuille. Elle appartient à une structure tridimensionnelle où les dimensions environnantes peuvent être étudiées simultanément dans toutes les orientations.

La représentation de la courbure devient alors volumétrique, directionnelle et progressive.

La sphère donne les possibilités.

Le cercle révèle la coupe.

La courbe révèle la dimension.

L'ensemble révèle la géométrie.