

Fiction, réalisme et représentation scientifique : y a-t-il une continuité conceptuelle en physique ?

Antoine Brandelet

Université de Mons
Université de Namur



2-3 Décembre 2021

1. Les modèles de modèles

- Le problème général de la modélisation
- Les différentes conceptions de la représentation épistémique

2. Le modèle de modèles

- Le make-believe de Walton
- La conception fictionnelle des modèles
- Le problème du réalisme

3. Le modèle

- Théorie étendue de gravitation
- Interprétation modale du Lagrangien
- La fiction NUT ?

Modèles dans la pratique scientifique

- ▶ Première difficulté : diversité
- ▶ diversité d'objets : modèles matériels, modèles analogiques, modèles à l'échelle, modèles mathématiques, ...
- ▶ diversité d'usages : représentation, médiation, explication, construction des théories, ...
- ▶ La relation théorie-modèle reste peu claire

(Hacking 1983)

“a model in physics is something you hold in your head rather than your hands”

Modèles dans la pratique scientifique

- ▶ Première difficulté : diversité
- ▶ diversité d'objets : modèles matériels, modèles analogiques, modèles à l'échelle, modèles mathématiques, ...
- ▶ diversité d'usages : représentation, médiation, explication, construction des théories, ...
- ▶ La relation théorie-modèle reste peu claire

(Hacking 1983)

“a model in physics is something you hold in your head rather than your hands”

Modèles dans la pratique scientifique

- ▶ Première difficulté : diversité
- ▶ diversité d'objets : modèles matériels, modèles analogiques, modèles à l'échelle, modèles mathématiques, ...
- ▶ diversité d'usages : représentation, médiation, explication, construction des théories, ...
- ▶ La relation théorie-modèle reste peu claire

(Hacking 1983)

“a model in physics is something you hold in your head rather than your hands”

Modèles dans la pratique scientifique

- ▶ Première difficulté : diversité
- ▶ diversité d'objets : modèles matériels, modèles analogiques, modèles à l'échelle, modèles mathématiques, ...
- ▶ diversité d'usages : représentation, médiation, explication, construction des théories, ...
- ▶ La relation théorie-modèle reste peu claire

(Hacking 1983)

“a model in physics is something you hold in your head rather than your hands”

Modèles dans la pratique scientifique

- ▶ Première difficulté : diversité
- ▶ diversité d'objets : modèles matériels, modèles analogiques, modèles à l'échelle, modèles mathématiques, ...
- ▶ diversité d'usages : représentation, médiation, explication, construction des théories, ...
- ▶ La relation théorie-modèle reste peu claire

(Hacking 1983)

“a model in physics is something you hold in your head rather than your hands”

- ▶ Représentation Épistémique (ER) : modèle comme support surrogative-reasoning
- ▶ conception plus large : graphes, cartes, dessins, modèles miniatures et fictions

2 Problèmes :

1. ER-problem (Frigg et Nguyen 2020) : qu'est-ce qui fait qu'une représentation épistémique représente
2. Representational Demarcation problem : les modèles sont-ils différents d'autres représentations épistémiques ?

- ▶ Représentation Épistémique (ER) : modèle comme support surrogative-reasoning
- ▶ conception plus large : graphes, cartes, dessins, modèles miniatures et fictions

2 Problèmes :

1. ER-problem (Frigg et Nguyen 2020) : qu'est-ce qui fait qu'une représentation épistémique représente
2. Representational Demarcation problem : les modèles sont-ils différents d'autres représentations épistémiques ?

- ▶ Représentation Épistémique (ER) : modèle comme support surrogative-reasoning
- ▶ conception plus large : graphes, cartes, dessins, modèles miniatures et fictions

2 Problèmes :

1. ER-problem (Frigg et Nguyen 2020) : qu'est-ce qui fait qu'une représentation épistémique représente
2. Representational Demarcation problem : les modèles sont-ils différents d'autres représentations épistémiques ?

- ▶ Représentation Épistémique (ER) : modèle comme support surrogative-reasoning
- ▶ conception plus large : graphes, cartes, dessins, modèles miniatures et fictions

2 Problèmes :

1. ER-problem (Frigg et Nguyen 2020) : qu'est-ce qui fait qu'une représentation épistémique représente
2. Representational Demarcation problem : les modèles sont-ils différents d'autres représentations épistémiques ?

Conception fictionnelle des modèles

- ▶ Pas de démarcation : besoin d'un cadre global pour comprendre la représentation
- ▶ Similarité, Structuraliste (da Costa et French 2003), Inférentielle (Suárez 2009)
- ▶ Ces conceptions rendent mal compte des idéalizations, des erreurs de représentation *misrepresentations* ou des *missing systems*
- ▶ La conception fictionnelle se base sur une similarité entre les modèles (scientifiques) et les œuvres de fiction

Conception fictionnelle des modèles

- ▶ Pas de démarcation : besoin d'un cadre global pour comprendre la représentation
- ▶ Similarité, Structuraliste (da Costa et French 2003), Inférentielle (Suárez 2009)
- ▶ Ces conceptions rendent mal compte des idéalizations, des erreurs de représentation *misrepresentations* ou des *missing systems*
- ▶ La conception fictionnelle se base sur une similarité entre les modèles (scientifiques) et les œuvres de fiction

Conception fictionnelle des modèles

- ▶ Pas de démarcation : besoin d'un cadre global pour comprendre la représentation
- ▶ Similarité, Structuraliste (da Costa et French 2003), Inférentielle (Suárez 2009)
- ▶ Ces conceptions rendent mal compte des idéalizations, des erreurs de représentation *misrepresentations* ou des *missing systems*
- ▶ La conception fictionnelle se base sur une similarité entre les modèles (scientifiques) et les œuvres de fiction

Conception fictionnelle des modèles

- ▶ Pas de démarcation : besoin d'un cadre global pour comprendre la représentation
- ▶ Similarité, Structuraliste (da Costa et French 2003), Inférentielle (Suárez 2009)
- ▶ Ces conceptions rendent mal compte des idéalizations, des erreurs de représentation *misrepresentations* ou des *missing systems*
- ▶ La conception fictionnelle se base sur une similarité entre les modèles (scientifiques) et les œuvres de fiction

Walton : make-believe

- ▶ Concepts principaux :
 - ▶ principles of generation : génèrent les propositions de la fiction (par exemple : équations dans un modèle mathématique)
 - ▶ props in game of make-believe : soutiennent les raisonnements
- ▶ Confrontés à un modèle, nous acceptons certaines hypothèses afin de raisonner dans le monde fictionnel qu'elles génèrent
- ▶ *Model-based account of fiction ?* (Levy 2020)

(Walton 1990, p. 7)

“Make-believe may be crucially involved in the postulation of 'theoretical entities' in science, and in another areas in which issues of metaphysical 'realism' are prominent”

Conséquence centrale : antiréalisme des entités fictionnelles

Walton : make-believe

- ▶ Concepts principaux :
 - ▶ principles of generation : génèrent les propositions de la fiction (par exemple : équations dans un modèle mathématique)
 - ▶ props in game of make-believe : soutiennent les raisonnements
- ▶ Confrontés à un modèle, nous acceptons certaines hypothèses afin de raisonner dans le monde fictionnel qu'elles génèrent
- ▶ *Model-based account of fiction ?* (Levy 2020)

(Walton 1990, p. 7)

“Make-believe may be crucially involved in the postulation of 'theoretical entities' in science, and in another areas in which issues of metaphysical 'realism' are prominent”

Conséquence centrale : antiréalisme des entités fictionnelles

Walton : make-believe

- ▶ Concepts principaux :
 - ▶ principles of generation : génèrent les propositions de la fiction (par exemple : équations dans un modèle mathématique)
 - ▶ props in game of make-believe : soutiennent les raisonnements
- ▶ Confrontés à un modèle, nous acceptons certaines hypothèses afin de raisonner dans le monde fictionnel qu'elles génèrent
- ▶ *Model-based account of fiction ?* (Levy 2020)

(Walton 1990, p. 7)

“Make-believe may be crucially involved in the postulation of 'theoretical entities' in science, and in another areas in which issues of metaphysical 'realism' are prominent”

Conséquence centrale : antiréalisme des entités fictionnelles

Walton : make-believe

- ▶ Concepts principaux :
 - ▶ principles of generation : génèrent les propositions de la fiction (par exemple : équations dans un modèle mathématique)
 - ▶ props in game of make-believe : soutiennent les raisonnements
- ▶ Confrontés à un modèle, nous acceptons certaines hypothèses afin de raisonner dans le monde fictionnel qu'elles génèrent
- ▶ *Model-based account of fiction ?* (Levy 2020)

(Walton 1990, p. 7)

“Make-believe may be crucially involved in the postulation of 'theoretical entities' in science, and in another areas in which issues of metaphysical 'realism' are prominent”

Conséquence centrale : antiréalisme des entités fictionnelles

Walton : make-believe

- ▶ Concepts principaux :
 - ▶ principles of generation : génèrent les propositions de la fiction (par exemple : équations dans un modèle mathématique)
 - ▶ props in game of make-believe : soutiennent les raisonnements
- ▶ Confrontés à un modèle, nous acceptons certaines hypothèses afin de raisonner dans le monde fictionnel qu'elles génèrent
- ▶ *Model-based account of fiction ?* (Levy 2020)

(Walton 1990, p. 7)

“Make-believe may be crucially involved in the postulation of 'theoretical entities' in science, and in another areas in which issues of metaphysical 'realism' are prominent”

Conséquence centrale : antiréalisme des entités fictionnelles

Modèles comme intermédiaires ?

- ▶ Direct view : modèles comme description partielles/erronées du système cible (Toon 2012)
- ▶ Indirect view : modèles comme médiateurs (Frigg 2009)
- ▶ Peut-on éviter les problèmes ontologiques avec la *direct view* ? Descriptions sans référent ? Une solution intermédiaire est-elle possible ?
- ▶ Les modèles sont-ils explicatif en dépit ou grâce aux idéalizations ? (Bokulich 2009 ; Bokulich 2016 ; Grüne-Yanoff 2013)
- ▶ Les idéalizations fournissent des explications en montrant quelles sont les caractéristiques pertinentes du modèle

Modèles comme intermédiaires ?

- ▶ Direct view : modèles comme description partielles/erronées du système cible (Toon 2012)
- ▶ Indirect view : modèles comme médiateurs (Frigg 2009)
- ▶ Peut-on éviter les problèmes ontologiques avec la *direct view* ? Descriptions sans référent ? Une solution intermédiaire est-elle possible ?
- ▶ Les modèles sont-ils explicatif en dépit ou grâce aux idéalizations ? (Bokulich 2009 ; Bokulich 2016 ; Grüne-Yanoff 2013)
- ▶ Les idéalizations fournissent des explications en montrant quelles sont les caractéristiques pertinentes du modèle

Modèles comme intermédiaires ?

- ▶ Direct view : modèles comme description partielles/erronées du système cible (Toon 2012)
- ▶ Indirect view : modèles comme médiateurs (Frigg 2009)
- ▶ Peut-on éviter les problèmes ontologiques avec la *direct view* ? Descriptions sans référent ? Une solution intermédiaire est-elle possible ?
- ▶ Les modèles sont-ils explicatif en dépit ou grâce aux idéalizations ? (Bokulich 2009 ; Bokulich 2016 ; Grüne-Yanoff 2013)
- ▶ Les idéalizations fournissent des explications en montrant quelles sont les caractéristiques pertinentes du modèle

Modèles comme intermédiaires ?

- ▶ Direct view : modèles comme description partielles/erronées du système cible (Toon 2012)
- ▶ Indirect view : modèles comme médiateurs (Frigg 2009)
- ▶ Peut-on éviter les problèmes ontologiques avec la *direct view* ? Descriptions sans référent ? Une solution intermédiaire est-elle possible ?
- ▶ Les modèles sont-ils explicatif en dépit ou grâce aux idéalizations ? (Bokulich 2009 ; Bokulich 2016 ; Grüne-Yanoff 2013)
- ▶ Les idéalizations fournissent des explications en montrant quelles sont les caractéristiques pertinentes du modèle

Vérité et fiction / Vérité dans une fiction

- ▶ Je pense qu'un réalisme modeste est accessible dans ce contexte
- ▶ Fiction \neq contre-vérité : la relation vérité-fiction est bien plus compliquée
- ▶ Il existe des vérités fictionnelles inconnues : condition nécessaire (mais non suffisante) pour ER
- ▶ Les modèles génèrent des propositions à propos des systèmes cibles (c'est leur capacité de représentation), ils sont explicatifs et prédictifs
- ▶ Mais : l'adéquation empirique ne peut soutenir la vérité des hypothèses fictionnelles
- ▶ Les modèles mettent en évidence des dépendances contrefactuelles (*modal modelling*), des *causal patterns* (Potochnik 2017)

Vérité et fiction / Vérité dans une fiction

- ▶ Je pense qu'un réalisme modeste est accessible dans ce contexte
- ▶ Fiction \neq contre-vérité : la relation vérité-fiction est bien plus compliquée
- ▶ Il existe des vérités fictionnelles inconnues : condition nécessaire (mais non suffisante) pour ER
- ▶ Les modèles génèrent des propositions à propos des systèmes cibles (c'est leur capacité de représentation), ils sont explicatifs et prédictifs
- ▶ Mais : l'adéquation empirique ne peut soutenir la vérité des hypothèses fictionnelles
- ▶ Les modèles mettent en évidence des dépendances contrefactuelles (*modal modelling*), des *causal patterns* (Potochnik 2017)

Vérité et fiction / Vérité dans une fiction

- ▶ Je pense qu'un réalisme modeste est accessible dans ce contexte
- ▶ Fiction \neq contre-vérité : la relation vérité-fiction est bien plus compliquée
- ▶ Il existe des vérités fictionnelles inconnues : condition nécessaire (mais non suffisante) pour ER
- ▶ Les modèles génèrent des propositions à propos des systèmes cibles (c'est leur capacité de représentation), ils sont explicatifs et prédictifs
- ▶ Mais : l'adéquation empirique ne peut soutenir la vérité des hypothèses fictionnelles
- ▶ Les modèles mettent en évidence des dépendances contrefactuelles (*modal modelling*), des *causal patterns* (Potochnik 2017)

Vérité et fiction / Vérité dans une fiction

- ▶ Je pense qu'un réalisme modeste est accessible dans ce contexte
- ▶ Fiction \neq contre-vérité : la relation vérité-fiction est bien plus compliquée
- ▶ Il existe des vérités fictionnelles inconnues : condition nécessaire (mais non suffisante) pour ER
- ▶ Les modèles génèrent des propositions à propos des systèmes cibles (c'est leur capacité de représentation), ils sont explicatifs et prédictifs
- ▶ Mais : l'adéquation empirique ne peut soutenir la vérité des hypothèses fictionnelles
- ▶ Les modèles mettent en évidence des dépendances contrefactuelles (*modal modelling*), des *causal patterns* (Potochnik 2017)

Vérité et fiction / Vérité dans une fiction

- ▶ Je pense qu'un réalisme modeste est accessible dans ce contexte
- ▶ Fiction \neq contre-vérité : la relation vérité-fiction est bien plus compliquée
- ▶ Il existe des vérités fictionnelles inconnues : condition nécessaire (mais non suffisante) pour ER
- ▶ Les modèles génèrent des propositions à propos des systèmes cibles (c'est leur capacité de représentation), ils sont explicatifs et prédictifs
- ▶ Mais : l'adéquation empirique ne peut soutenir la vérité des hypothèses fictionnelles
- ▶ Les modèles mettent en évidence des dépendances contrefactuelles (*modal modelling*), des *causal patterns* (Potochnik 2017)

Un exemple en physique

- ▶ Exemple : théories étendues de gravitation
- ▶ Avantage : cas classique, met en évidence la hiérarchie des modèles, exploite l'idée de modalité et de symétries
- ▶ But : préciser le rôle des symétries dans les théories physiques ; explorer les différents aspects de la modalité en physique lagrangienne (Butterfield 2002)
- ▶ Le cas de la charge (ou paramètre) NUT
- ▶ Misner : “*A counterexample to almost anything*”

Un exemple en physique

- ▶ Exemple : théories étendues de gravitation
- ▶ Avantage : cas classique, met en évidence la hiérarchie des modèles, exploite l'idée de modalité et de symétries
- ▶ But : préciser le rôle des symétries dans les théories physiques ; explorer les différents aspects de la modalité en physique lagrangienne (Butterfield 2002)
- ▶ Le cas de la charge (ou paramètre) NUT
- ▶ Misner : “*A counterexample to almost anything*”

Un exemple en physique

- ▶ Exemple : théories étendues de gravitation
- ▶ Avantage : cas classique, met en évidence la hiérarchie des modèles, exploite l'idée de modalité et de symétries
- ▶ But : préciser le rôle des symétries dans les théories physiques ; explorer les différents aspects de la modalité en physique lagrangienne (Butterfield 2002)
- ▶ Le cas de la charge (ou paramètre) NUT
- ▶ Misner : "*A counterexample to almost anything*"

Un exemple en physique

- ▶ Exemple : théories étendues de gravitation
- ▶ Avantage : cas classique, met en évidence la hiérarchie des modèles, exploite l'idée de modalité et de symétries
- ▶ But : préciser le rôle des symétries dans les théories physiques ; explorer les différents aspects de la modalité en physique lagrangienne (Butterfield 2002)
- ▶ Le cas de la charge (ou paramètre) NUT
- ▶ Misner : *"A counterexample to almost anything"*

Un exemple en physique

- ▶ Exemple : théories étendues de gravitation
- ▶ Avantage : cas classique, met en évidence la hiérarchie des modèles, exploite l'idée de modalité et de symétries
- ▶ But : préciser le rôle des symétries dans les théories physiques ; explorer les différents aspects de la modalité en physique lagrangienne (Butterfield 2002)
- ▶ Le cas de la charge (ou paramètre) NUT
- ▶ Misner : “*A counterexample to almost anything*”

► Contexte :

- Extensions de la relativité générale (à 4 dimensions)
- Théories type Galileon/Horndeski : métrique, champ scalaire, équations du mouvement du second ordre
- Contournement des hypothèses du *No-hair Theorem*
- Solutions de trous noirs dans la géométrie NUT :

$$ds^2 = -f^2(r)[dt + 4n \sin^2 \frac{\theta}{2} d\varphi]^2 + f^{-2}(r)dr^2 + (r^2 + n^2)(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2),$$

où n est la charge NUT et

$$f^2(r) = 1 - 2 \frac{mr + n^2}{r^2 + n^2} = \frac{r^2 - 2mr - n^2}{r^2 + n^2},$$

avec m la masse. Possède un horizon en $r = m + \sqrt{m^2 + n^2}$ et 4 vecteurs de Killing.

- ▶ Contexte :
 - ▶ Extensions de la relativité générale (à 4 dimensions)
 - ▶ Théories type Galileon/Horndeski : métrique, champ scalaire, équations du mouvement du second ordre
 - ▶ Contournement des hypothèses du *No-hair Theorem*
 - ▶ Solutions de trous noirs dans la géométrie NUT :

$$ds^2 = -f^2(r)[dt + 4n \sin^2 \frac{\theta}{2} d\varphi]^2 + f^{-2}(r)dr^2 + (r^2 + n^2)(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2),$$

où n est la charge NUT et

$$f^2(r) = 1 - 2 \frac{mr + n^2}{r^2 + n^2} = \frac{r^2 - 2mr - n^2}{r^2 + n^2},$$

avec m la masse. Possède un horizon en $r = m + \sqrt{m^2 + n^2}$ et 4 vecteurs de Killing.

- ▶ Contexte :
 - ▶ Extensions de la relativité générale (à 4 dimensions)
 - ▶ Théories type Galileon/Horndeski : métrique, champ scalaire, équations du mouvement du second ordre
 - ▶ Contournement des hypothèses du *No-hair Theorem*
 - ▶ Solutions de trous noirs dans la géométrie NUT :

$$ds^2 = -f^2(r)[dt + 4n \sin^2 \frac{\theta}{2} d\varphi]^2 + f^{-2}(r)dr^2 + (r^2 + n^2)(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2),$$

où n est la charge NUT et

$$f^2(r) = 1 - 2 \frac{mr + n^2}{r^2 + n^2} = \frac{r^2 - 2mr - n^2}{r^2 + n^2},$$

avec m la masse. Possède un horizon en $r = m + \sqrt{m^2 + n^2}$ et 4 vecteurs de Killing.

- ▶ Contexte :
 - ▶ Extensions de la relativité générale (à 4 dimensions)
 - ▶ Théories type Galileon/Horndeski : métrique, champ scalaire, équations du mouvement du second ordre
 - ▶ Contournement des hypothèses du *No-hair Theorem*
 - ▶ Solutions de trous noirs dans la géométrie NUT :

$$ds^2 = -f^2(r)[dt + 4n \sin^2 \frac{\theta}{2} d\varphi]^2 + f^{-2}(r)dr^2 + (r^2 + n^2)(d\theta^2 + \sin^2 \theta d\varphi^2),$$

où n est la charge NUT et

$$f^2(r) = 1 - 2 \frac{mr + n^2}{r^2 + n^2} = \frac{r^2 - 2mr - n^2}{r^2 + n^2},$$

avec m la masse. Possède un horizon en $r = m + \sqrt{m^2 + n^2}$ et 4 vecteurs de Killing.

Remarques :

1. métrique stationnaire, mais non statique (termes $g_{t\varphi}$ non nuls, comme dans la solution de Kerr)
2. Se réduit à la solution de Schwarzschild quand $n = 0$
3. Paramètre NUT comme potentiel ingrédient astrophysique
4. Vérifications astrophysiques ? Forme particulière de la silhouette d'un trou noir ? → Géodésiques à étudier.

On considère l'action suivante :

$$S = \kappa \int_V d^4x \sqrt{-g} R - \frac{\beta}{2} \int_V d^4x \sqrt{-g} [g^{\mu\nu} (\nabla_\mu \phi)(\nabla_\nu \phi)] + \frac{\gamma}{2} \int_V d^4x \sqrt{-g} \phi \mathcal{G},$$

avec le terme de Gauss-Bonnet

$$\mathcal{G} = R^{\mu\nu\rho\sigma} R_{\mu\nu\rho\sigma} - 4R^{\mu\nu} R_{\mu\nu} + R^2.$$

Remarques :

1. Il existe des solutions type trous noirs dans le background NUT
2. On étudie l'effet du paramètre de couplage γ sur les trajectoires de photons (lentilles gravitationnelles)
3. Effet combiné de γ et n . La charge NUT semble briser une des symétries du problème, pourtant la symétrie sphérique de la métrique semble garantie par ses 4 vecteurs de Killing : $K_0 = \partial_t$ et $[K_i, K_j] = \varepsilon_{ijk} K_k$ pour i, j et k allant de 1 à 3

On considère l'action suivante :

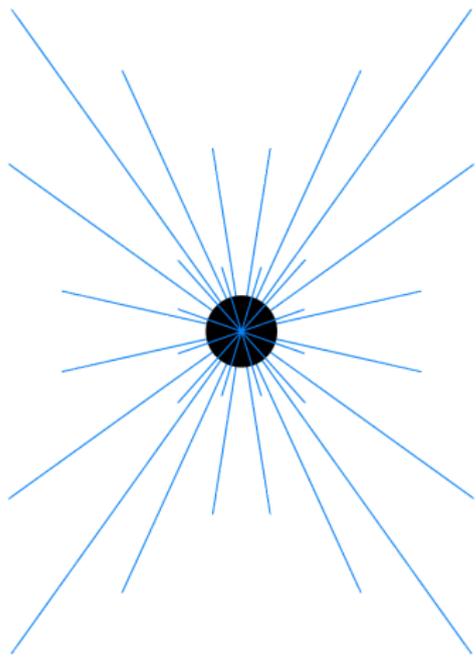
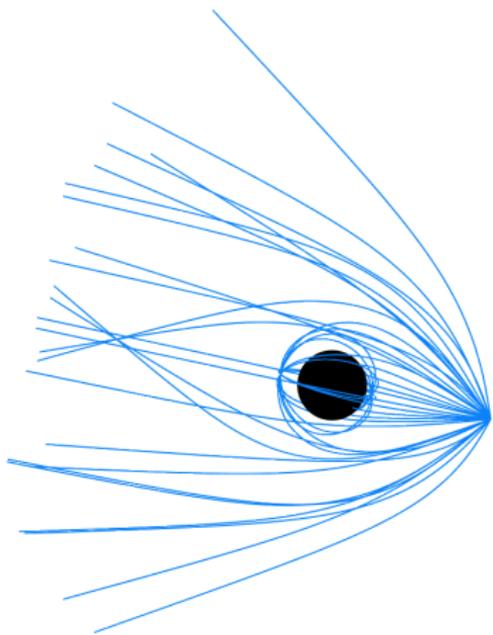
$$S = \kappa \int_V d^4x \sqrt{-g} R - \frac{\beta}{2} \int_V d^4x \sqrt{-g} [g^{\mu\nu} (\nabla_\mu \phi)(\nabla_\nu \phi)] + \frac{\gamma}{2} \int_V d^4x \sqrt{-g} \phi \mathcal{G},$$

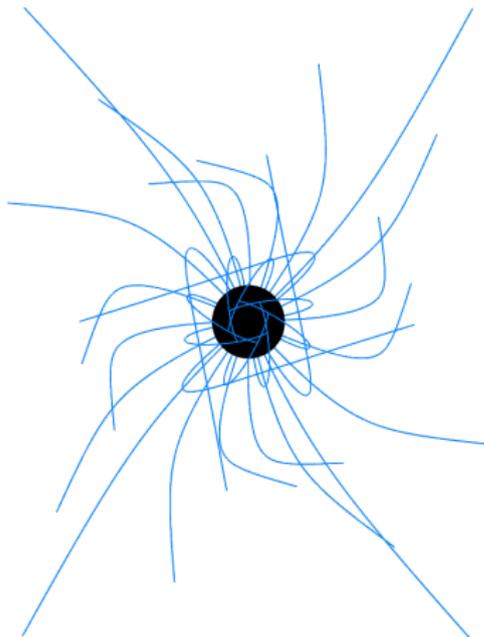
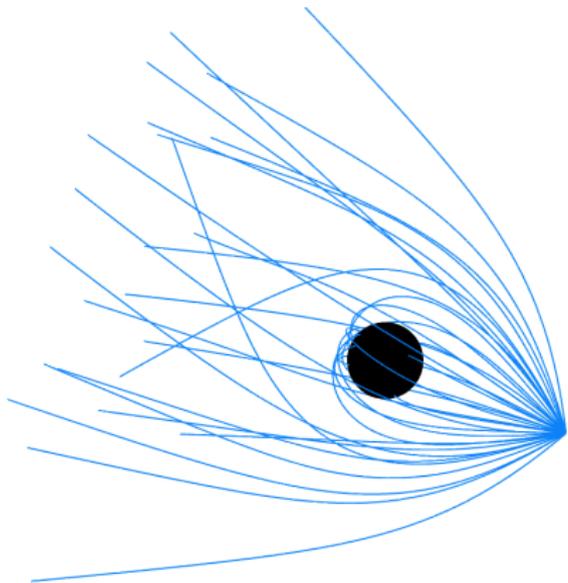
avec le terme de Gauss-Bonnet

$$\mathcal{G} = R^{\mu\nu\rho\sigma} R_{\mu\nu\rho\sigma} - 4R^{\mu\nu} R_{\mu\nu} + R^2.$$

Remarques :

1. Il existe des solutions type trous noirs dans le background NUT
2. On étudie l'effet du paramètre de couplage γ sur les trajectoires de photons (lentilles gravitationnelles)
3. Effet combiné de γ et n . La charge NUT semble briser une des symétries du problème, pourtant la symétrie sphérique de la métrique semble garantie par ses 4 vecteurs de Killing : $K_0 = \partial_t$ et $[K_i, K_j] = \varepsilon_{ijk} K_k$ pour i, j et k allant de 1 à 3





Plusieurs questions se posent immédiatement :

- ▶ Dans ce modèle, quel est le statut modal du paramètre NUT ?
- ▶ Peut-on interpréter n causalement ? NUT n'est pas une charge au sens de Noether.
- ▶ *Structural Realism* : l'accent est généralement mis sur les symétries, ici la structure $SO(3)$ du modèle semble *artificielle* \Rightarrow surplus structure ?
- ▶ À noter : il ne s'agit **pas** d'une symétrie de jauge

Plusieurs questions se posent immédiatement :

- ▶ Dans ce modèle, quel est le statut modal du paramètre NUT ?
- ▶ Peut-on interpréter n causalement ? NUT n'est pas une charge au sens de Noether.
- ▶ *Structural Realism* : l'accent est généralement mis sur les symétries, ici la structure $SO(3)$ du modèle semble *artificielle* \Rightarrow surplus structure ?
- ▶ À noter : il ne s'agit **pas** d'une symétrie de jauge

Plusieurs questions se posent immédiatement :

- ▶ Dans ce modèle, quel est le statut modal du paramètre NUT ?
- ▶ Peut-on interpréter n causalement ? NUT n'est pas une charge au sens de Noether.
- ▶ *Structural Realism* : l'accent est généralement mis sur les symétries, ici la structure $SO(3)$ du modèle semble *artificielle* \Rightarrow surplus structure ?
- ▶ À noter : il ne s'agit **pas** d'une symétrie de jauge

Plusieurs questions se posent immédiatement :

- ▶ Dans ce modèle, quel est le statut modal du paramètre NUT ?
- ▶ Peut-on interpréter n causalement ? NUT n'est pas une charge au sens de Noether.
- ▶ *Structural Realism* : l'accent est généralement mis sur les symétries, ici la structure $SO(3)$ du modèle semble *artificielle* \Rightarrow surplus structure ?
- ▶ À noter : il ne s'agit **pas** d'une symétrie de jauge

Conclusions

- ▶ Thèse faible : conception fictionnelle compatible avec le réalisme
- ▶ Thèse forte : conception fictionnelle en faveur du réalisme
- ▶ Quelle forme de réalisme ?
 - ▶ Réalisme des structures ?
 - ▶ Réalisme des lois ?
 - ▶ Réalisme des *causal patterns*
 - ▶ ...

Conclusions

- ▶ Thèse faible : conception fictionnelle compatible avec le réalisme
- ▶ Thèse forte : conception fictionnelle en faveur du réalisme
- ▶ Quelle forme de réalisme ?
 - ▶ Réalisme des structures ?
 - ▶ Réalisme des lois ?
 - ▶ Réalisme des *causal patterns*
 - ▶ ...

-  Bokulich, Alisa (2009). “Explanatory Fictions”. In : *Fictions in science : philosophical essays on modeling and idealization*. Sous la dir. de Mauricio Suárez. New York : Routledge.
-  — (2016). “Fiction As a Vehicle for Truth : Moving Beyond the Ontic Conception”. In : *The Monist* 99.3, p. 260-279. DOI : 10.1093/monist/onw004.
-  Butterfield, Jeremy (2002). “Some Aspects of Modality in Analytical Mechanics”. In : *Symposium of the Philosophy of Science Association*. arXiv : 0210081 [physics.class-ph].
-  da Costa, Newton et Steven French (nov. 2003). *Science and Partial Truth*. Oxford University Press. DOI : 10.1093/019515651x.001.0001.
-  Frigg, Roman (2009). “Models and fiction”. In : *Synthese* 172.2, p. 251-268. DOI : 10.1007/s11229-009-9505-0.
-  Frigg, Roman et James Nguyen (3 sept. 2020). *Modelling Nature : An Opinionated Introduction to Scientific Representation*. Springer International Publishing. 260 p. ISBN : 3030451526.

-  Grüne-Yanoff, Till (déc. 2013). "Appraising Models Nonrepresentationally". In : *Philosophy of Science* 80.5, p. 850-861. DOI : 10.1086/673893.
-  Hacking, Ian (oct. 1983). *Representing and Intervening*. Cambridge University Press. DOI : 10.1017/cbo9780511814563.
-  Levy, Arnon (déc. 2020). "Models and Fictions : Not So Similar after All?" In : *Philosophy of Science* 87.5, p. 819-828. DOI : 10.1086/710616.
-  Potochnik, Angela (17 nov. 2017). *Idealization and the Aims of Science*. UNIV OF CHICAGO PR. 288 p. ISBN : 022650705X. URL : https://www.ebook.de/de/product/28741294/angela_potochnik_idealization_and_the_aims_of_science.html.
-  Suárez, Mauricio (2009). "Scientific Fictions as Rules of Inference". In : *Fictions in science : philosophical essays on modeling and idealization*. Sous la dir. de Mauricio Suárez. New York : Routledge.

-  Toon, Adam (1^{er} jan. 2012). *Models as Make-Believe*. Palgrave Macmillan. 148 p.
-  Walton, Kendall (1990). *Mimesis as make-believe : on the foundations of the representational arts*. Cambridge, Mass : Harvard University Press. ISBN : 9780674576032.