

Le progrès scientifique: révolution et continuité

Kevin Fraval

Lycée Henri IV

Jeudi 6 juillet 2023

La pensée de Kuhn



Thomas Kuhn
(1922-1996)

- Le progrès scientifique a une structure *fondamentalement révolutionnaire*.
- La science *normale* accumule des données et des résultats majoritairement en accord avec le paradigme.

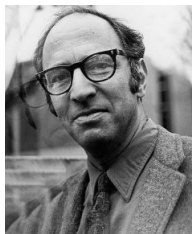
La pensée de Kuhn



Thomas Kuhn
(1922-1996)

- Le progrès scientifique a une structure *fondamentalement révolutionnaire*.
- La science *normale* accumule des données et des résultats majoritairement en accord avec le paradigme.
- Les résultats qui ne sont pas en accord sont le plus souvent considérés comme des exceptions techniques, qui finiront par rentrer dans le paradigme existant...

La pensée de Kuhn



Thomas Kuhn
(1922-1996)

- Le progrès scientifique a une structure *fondamentalement révolutionnaire*.
- La science *normale* accumule des données et des résultats majoritairement en accord avec le paradigme.
- Les résultats qui ne sont pas en accord sont le plus souvent considérés comme des exceptions techniques, qui finiront par rentrer dans le paradigme existant...
- Ou bien créeront une *crise épistémologique*, qui finira par entraîner un *changement de paradigme*.

Deux exemples importants dans *La structure des révolutions scientifiques*

- La "découverte" de l'oxygène et l'abandon du phlogistique :
 - ▶ Expérience de Joseph Priestley en 1774 : l'oxyde de mercure chauffé libère de l'oxygène ;
 - ▶ Lavoisier refait l'expérience, mais identifie le gaz produit comme présent dans l'air et responsable des combustions : c'est l'oxygène.
 - ▶ Il faut rejeter la théorie du phlogistique, car la chaux (l'oxyde) est plus lourde que le métal.

Deux exemples importants dans *La structure des révolutions scientifiques*

- La "découverte" de l'oxygène et l'abandon du phlogistique :
 - ▶ Expérience de Joseph Priestley en 1774 : l'oxyde de mercure chauffé libère de l'oxygène ;
 - ▶ Lavoisier refait l'expérience, mais identifie le gaz produit comme présent dans l'air et responsable des combustions : c'est l'oxygène.
 - ▶ Il faut rejeter la théorie du phlogistique, car la chaux (l'oxyde) est plus lourde que le métal.
- Le système astronomique de Copernic :
 - ▶ L'argument principal de Copernic est de nature esthétique ;
 - ▶ Son système peut sembler plus simple que celui de Ptolémée, mais il n'est pas particulièrement plus prédictif ;
 - ▶ En effet chez Copernic, les trajectoires des planète sont circulaires, donc même si le Soleil est excentré, les rétrogradations précises ne sont pas mieux reproduites que chez Ptolémée.

Les paradigmes sont totalement incompatibles

"La théorie d'Einstein ne peut être acceptée que si on tient celle de Newton pour fausse."

- Dans la vision kuhnienne, les nouveaux paradigmes sont totalement incompatibles avec les anciens (qui deviennent "faux");
- La mécanique newtonienne n'est donc pas un cas particulier de celle d'Einstein...

Les paradigmes sont totalement incompatibles

"La théorie d'Einstein ne peut être acceptée que si on tient celle de Newton pour fausse."

- Dans la vision kuhnienne, les nouveaux paradigmes sont totalement incompatibles avec les anciens (qui deviennent "faux") ;
- La mécanique newtonienne n'est donc pas un cas particulier de celle d'Einstein...
- ... car les concepts sous-jacents sont trop différents :
"Quand les paradigmes changent, le monde lui-même change avec eux."

Nuançons : l'exemple de l'optique

Lorsque nous devons enseigner le fonctionnement d'un télescope, nous pouvons :

- Utiliser l'optique géométrique de Newton : c'est simple, élégant, efficace, les prédictions sont bien reproduites par l'expérience. Est-ce une démarche scientifique satisfaisante ? Kuhn ne le dit pas clairement dans son texte, mais...

Nuançons : l'exemple de l'optique

Lorsque nous devons enseigner le fonctionnement d'un télescope, nous pouvons :

- Utiliser l'optique géométrique de Newton : c'est simple, élégant, efficace, les prédictions sont bien reproduites par l'expérience. Est-ce une démarche scientifique satisfaisante ? Kuhn ne le dit pas clairement dans son texte, mais...
- Si on suit sa pensée, le cadre conceptuel de l'optique newtonienne est essentiellement "faux", et *n'est même pas un cas particulier de l'optique ondulatoire.*

Nuançons : l'exemple de l'optique

Lorsque nous devons enseigner le fonctionnement d'un télescope, nous pouvons :

- Utiliser l'optique géométrique de Newton : c'est simple, élégant, efficace, les prédictions sont bien reproduites par l'expérience. Est-ce une démarche scientifique satisfaisante ? Kuhn ne le dit pas clairement dans son texte, mais...
- Si on suit sa pensée, le cadre conceptuel de l'optique newtonienne est essentiellement "faux", et *n'est même pas un cas particulier de l'optique ondulatoire*.
- Pourtant, personne n'explique spontanément le télescope en termes ondulatoires. Encore pire, selon Kuhn le paradigme ondulatoire doit être considéré comme "faux" au regard du paradigme plus récent : la théorie quantique des champs.

Nuançons : l'exemple de l'optique

Lorsque nous devons enseigner le fonctionnement d'un télescope, nous pouvons :

- Utiliser l'optique géométrique de Newton : c'est simple, élégant, efficace, les prédictions sont bien reproduites par l'expérience. Est-ce une démarche scientifique satisfaisante ? Kuhn ne le dit pas clairement dans son texte, mais...
- Si on suit sa pensée, le cadre conceptuel de l'optique newtonienne est essentiellement "faux", et *n'est même pas un cas particulier de l'optique ondulatoire*.
- Pourtant, personne n'explique spontanément le télescope en termes ondulatoires. Encore pire, selon Kuhn le paradigme ondulatoire doit être considéré comme "faux" au regard du paradigme plus récent : la théorie quantique des champs.
- Pourtant, expliquer le télescope à l'aide de la théorie quantique des champs de photons relève d'une difficulté particulièrement superflue. Il ne semble pas que la physique du télescope se trouve dans ce paradigme très moderne.

La valeur scientifique d'un paradigme

- Finalement, il semble que les anciens paradigmes gardent pour certains une grande valeur pratique, mais aussi scientifique, intellectuelle et pédagogique.

La valeur scientifique d'un paradigme

- Finalement, il semble que les anciens paradigmes gardent pour certains une grande valeur pratique, mais aussi scientifique, intellectuelle et pédagogique.
- La valeur scientifique d'un paradigme me semble avant tout se trouver dans sa capacité à faire des prédictions de façon efficace :
 - ▶ La complexité n'est pas un argument suffisant pour rejeter un paradigme, si celui-ci est plus prédictif, mais...

La valeur scientifique d'un paradigme

- Finalement, il semble que les anciens paradigmes gardent pour certains une grande valeur pratique, mais aussi scientifique, intellectuelle et pédagogique.
- La valeur scientifique d'un paradigme me semble avant tout se trouver dans sa capacité à faire des prédictions de façon efficace :
 - ▶ La complexité n'est pas un argument suffisant pour rejeter un paradigme, si celui-ci est plus prédictif, mais...
 - ▶ À pouvoir prédictif égal, on préfère souvent le paradigme le plus simple.

La valeur scientifique d'un paradigme

- Finalement, il semble que les anciens paradigmes gardent pour certains une grande valeur pratique, mais aussi scientifique, intellectuelle et pédagogique.
- La valeur scientifique d'un paradigme me semble avant tout se trouver dans sa capacité à faire des prédictions de façon efficace :
 - ▶ La complexité n'est pas un argument suffisant pour rejeter un paradigme, si celui-ci est plus prédictif, mais...
 - ▶ À pouvoir prédictif égal, on préfère souvent le paradigme le plus simple.
- La notion de "fausseté" d'un concept ou d'un paradigme semble à grandement nuancer :
 - ▶ Chez Karl Popper, la scientificité d'un énoncé se trouve plutôt dans sa réfutabilité.
 - ▶ Finalement, le seul critère scientifique objectif se trouve dans l'accord avec l'expérience.
 - ▶ À ce titre, la mécanique de Newton, l'optique non quantique, et même le géocentrisme ont une valeur scientifique.

La valeur scientifique d'un paradigme

- Finalement, il semble que les anciens paradigmes gardent pour certains une grande valeur pratique, mais aussi scientifique, intellectuelle et pédagogique.
- La valeur scientifique d'un paradigme me semble avant tout se trouver dans sa capacité à faire des prédictions de façon efficace :
 - ▶ La complexité n'est pas un argument suffisant pour rejeter un paradigme, si celui-ci est plus prédictif, mais...
 - ▶ À pouvoir prédictif égal, on préfère souvent le paradigme le plus simple.
- La notion de "fausseté" d'un concept ou d'un paradigme semble à grandement nuancer :
 - ▶ Chez Karl Popper, la scientificité d'un énoncé se trouve plutôt dans sa réfutabilité.
 - ▶ Finalement, le seul critère scientifique objectif se trouve dans l'accord avec l'expérience.
 - ▶ À ce titre, la mécanique de Newton, l'optique non quantique, et même le géocentrisme ont une valeur scientifique.
- Dans une culture scientifique moderne, *les paradigmes, bien qu'inégaux, coexistent.*

Progrès et paradigmes en astronomie

- L'exemple de l'astronomie copernicienne est intéressant, car :
 - ▶ Le système de Copernic n'est pas spécialement plus prédictif que celui de Ptolémée ;
 - ▶ Et malgré une simplification manifeste, celui-ci soulève automatiquement des questions nouvelles et difficiles !

Progrès et paradigmes en astronomie

- L'exemple de l'astronomie copernicienne est intéressant, car :
 - ▶ Le système de Copernic n'est pas spécialement plus prédictif que celui de Ptolémée ;
 - ▶ Et malgré une simplification manifeste, celui-ci soulève automatiquement des questions nouvelles et difficiles !
- Au premier rang de celles-ci, on peut citer :
 - ▶ L'absence apparente de parallaxe stellaire ;
 - ▶ L'absence apparente d'effets cinématiques (force centrifuge).

Progrès et paradigmes en astronomie

- L'exemple de l'astronomie copernicienne est intéressant, car :
 - ▶ Le système de Copernic n'est pas spécialement plus prédictif que celui de Ptolémée ;
 - ▶ Et malgré une simplification manifeste, celui-ci soulève automatiquement des questions nouvelles et difficiles !
- Au premier rang de celles-ci, on peut citer :
 - ▶ L'absence apparente de parallaxe stellaire ;
 - ▶ L'absence apparente d'effets cinématiques (force centrifuge).
- Le système de Copernic est-il finalement à ce stade véritablement un progrès scientifique ?

Progrès et paradigmes en astronomie

- C'est l'*Astronomia Nova* de Kepler qui effectuera un véritable progrès prédictif...

Progrès et paradigmes en astronomie

- C'est l'*Astronomia Nova* de Kepler qui effectuera un véritable progrès prédictif...
- ... au prix d'une complexification sensible : les trajectoires ne sont plus circulaires, ni uniformes !

Progrès et paradigmes en astronomie

- C'est l'*Astronomia Nova* de Kepler qui effectuera un véritable progrès prédictif...
- ... au prix d'une complexification sensible : les trajectoires ne sont plus circulaires, ni uniformes !
- Quand bien même, au moment de la parution de l'*Astronomia Nova*, les lois de Kepler ne permettent pas de faire de nouvelles prédictions vérifiables, au-delà des observations dont elles ont été déduites (les positions de Mars en conjonction).

Progrès et paradigmes en astronomie

- C'est l'*Astronomia Nova* de Kepler qui effectuera un véritable progrès prédictif...
- ... au prix d'une complexification sensible : les trajectoires ne sont plus circulaires, ni uniformes !
- Quand bien même, au moment de la parution de l'*Astronomia Nova*, les lois de Kepler ne permettent pas de faire de nouvelles prédictions vérifiables, au-delà des observations dont elles ont été déduites (les positions de Mars en conjonction).
- Toutefois, les objections premières à l'héliocentrisme (la parallaxe stellaire et la force centrifuge) persistent !

Progrès et paradigmes en astronomie

Il faudra des siècles de développement scientifique pour finalement accepter le paradigme keplerien, par incréments très progressifs :

- Galilée observera les phases de Vénus et le mouvement des tâches solaires en 1610 ;
- Les principes mécaniques de Newton, qui trouvent une grande part de leur motivation dans les lois de Kepler, permettront de faire des prédictions *en dehors* du champ strict de l'astronomie ;
- L'aberration des étoiles sera comprise et utilisée par James Bradley en 1725 pour déterminer la vitesse de la lumière ;
- La parallaxe stellaire sera observée pour la première fois par Bessel en 1838 sur le système 61 Cygni.

Révolutions et continuité

Finalement, il semble qu'on ait coexistence :

Révolutions et continuité

Finalement, il semble qu'on ait coexistence :

- D'une dynamique révolutionnaire dans les concepts...

Révolutions et continuité

Finalement, il semble qu'on ait coexistence :

- D'une dynamique révolutionnaire dans les concepts...
- ... et d'une progression assez continue de la capacité concrète de prédiction et de vérification expérimentale.

Révolutions et continuité

Finalement, il semble qu'on ait coexistence :

- D'une dynamique révolutionnaire dans les concepts...
- ... et d'une progression assez continue de la capacité concrète de prédiction et de vérification expérimentale.

De plus, les anciens paradigmes ne semblent pas toujours remplacés par les anciens, ou vidés leur valeur scientifique :

- On ne se représente pas le télescope avec les équations de Maxwell, ni la diffraction avec la théorie quantique des champs. Tous ces paradigmes ont finalement une valeur scientifique claire, dans leur capacité de prédiction et leur cohérence épistémologique ;

Révolutions et continuité

Finalement, il semble qu'on ait coexistence :

- D'une dynamique révolutionnaire dans les concepts...
- ... et d'une progression assez continue de la capacité concrète de prédiction et de vérification expérimentale.

De plus, les anciens paradigmes ne semblent pas toujours remplacés par les anciens, ou vidés leur valeur scientifique :

- On ne se représente pas le télescope avec les équations de Maxwell, ni la diffraction avec la théorie quantique des champs. Tous ces paradigmes ont finalement une valeur scientifique claire, dans leur capacité de prédiction et leur cohérence épistémologique ;
- De même, on dit que le Soleil "se lève" et "se couche", et on ne présente pas les lois de Kepler en commençant par la relativité générale.

Révolutions et continuité

Finalement, il semble qu'on ait coexistence :

- D'une dynamique révolutionnaire dans les concepts...
- ... et d'une progression assez continue de la capacité concrète de prédiction et de vérification expérimentale.

De plus, les anciens paradigmes ne semblent pas toujours remplacés par les anciens, ou vidés leur valeur scientifique :

- On ne se représente pas le télescope avec les équations de Maxwell, ni la diffraction avec la théorie quantique des champs. Tous ces paradigmes ont finalement une valeur scientifique claire, dans leur capacité de prédiction et leur cohérence épistémologique ;
- De même, on dit que le Soleil "se lève" et "se couche", et on ne présente pas les lois de Kepler en commençant par la relativité générale.

Encore une fois, *les paradigmes, bien qu'inégaux, coexistent.*

Pour conclure : une réflexion à méditer

Qu'on me permette un vœu, pour terminer. Supposons que, d'ici quelques années, ces théories [qui deviendront la relativité restreinte] subissent de nouvelles épreuves et en triomphent ; notre enseignement secondaire courra alors un grand danger : quelques professeurs voudront, sans doute, faire une place aux nouvelles théories. Les nouveautés sont si attrayantes, et il est si dur de ne pas sembler assez avancé ! Au moins, on voudra offrir aux enfants des aperçus et, avant de leur enseigner la mécanique ordinaire, on les avertira qu'elle a fait son temps et qu'elle était bonne tout au plus pour cette vieille ganache de Laplace. Et alors, ils ne prendront pas l'habitude de la Mécanique ordinaire. Est-il bon de les avertir qu'elle n'est qu'approchée ? Oui : mais plus tard, quand ils s'en seront pénétrés jusqu'aux moelles, quand ils auront pris le pli de ne penser que par elle, quand ils ne risqueront plus de désapprendre, alors on pourra, sans inconvénient, leur en montrer les limites. C'est avec la Mécanique ordinaire qu'ils doivent vivre ; c'est la seule qu'ils auront jamais à appliquer ; quels que soient les progrès de l'automobilisme, nos voitures n'atteindront jamais les vitesses où elle n'est plus vraie. L'autre n'est qu'un luxe, et l'on ne doit penser au luxe que quand il ne risque plus de nuire au nécessaire.

Henri Poincaré-*Science et méthode* (1908).