

## **Débat scientifique sur le brassage interchromosomique et la diversité phénotypique au bénin : analyse des modèles explicatifs**

**Paul K. ABOTO<sup>\*1</sup>,**

*Laboratoire de Didactique des disciplines (LDD) /Université  
d'Abomey Calavi (UAC) /Bénin abotopaul@gmail.com*

**Denise ORANGE RAVACHOL<sup>2</sup>**

*Professeure des universités émérites*

*Sciences de l'Education (Didactiques des Sciences et des  
« Educations à »)*

### **Résumé**

*Cet article analyse le débat scientifique sur le brassage interchromosomique en Terminale D au Bénin. L'objectif est d'identifier et d'examiner les modèles explicatifs construits à partir du débat sur les sept affiches de groupes homogènes et leurs fondements théoriques, didactiques et épistémologiques. La méthodologie repose sur l'analyse qualitative de sept affiches produites par les groupes homogènes à partir desquels trois (3) modèles explicatifs ont été identifiés : modèle A : anomalie de séparation des chromosomes produisant des gamètes aneuploïdes Aa et Bb ; modèle B : brassage intra chromosomique remplaçant le brassage Inter chromosomique et le modèle C : brassage interchromosomique correct suivi d'une fécondation réussie. L'analyse théorique, didactique et épistémologique montre que les apprenants tendent à privilégier des modèles simplifiés et parfois déterministes. La conclusion souligne la nécessité de transposer didactiquement le hasard biologique et la pensée probabiliste pour mieux comprendre la diversité phénotypique.*

**Mots clés :** *Brassage interchromosomique, diversité phénotypique, modèle explicatif, épistémologie et didactique*

## Abstract

*This article analyzes the scientific debate on interchromosomal recombination in the final year of high school (Terminal D) in Benin. The objective is to identify and examine the explanatory models constructed from the debate on seven posters created by homogeneous groups and their theoretical, didactic, and epistemological foundations. The methodology is based on the qualitative analysis of seven posters produced by the homogeneous groups, from which three explanatory models were identified : Model A : anomaly in chromosome separation producing aneuploid gametes Aa and Bb ; Model B : intrachromosomal recombination replacing interchromosomal recombination ; and Model C : correct interchromosomal recombination followed by successful fertilization. The theoretical, didactic, and epistemological analysis shows that students tend to favor simplified and sometimes deterministic models. The conclusion emphasizes the need to didactically transpose biological randomness and probabilistic thinking to better understand phenotypic diversity.*

**Keywords** : Interchromosomal recombination, phenotypic diversity, explanatory model, epistemology and didactics

## Introduction

Dans notre travail de thèse portant sur la problématisation de l'information génétique, et plus particulièrement sur le cas du brassage interchromosomique, nous avons constaté l'importance décisive du débat scientifique dans le dénouement des controverses conceptuelles rencontrées par les apprenants. En effet, lorsque les apprenants sont placés au cœur d'une situation où plusieurs explications concurrentes coexistent, le débat devient un espace privilégié de mise en tension, de justification et de transformation des modèles explicatifs. Cette dynamique s'avère particulièrement féconde dans l'enseignement de la

génétique, domaine réputé difficile car mobilisant des entités abstraites, des mécanismes invisibles et des niveaux d'organisation multiples.

En classe de Terminale D au Bénin, l'étude de la diversité phénotypique et des mécanismes de brassage génétique offre un terrain fertile pour engager les apprenants dans une démarche d'investigation conceptuelle. Or, l'expérience montre que les apprenants éprouvent souvent des difficultés à articuler correctement les deux processus fondamentaux que sont la méiose et la fécondation, ainsi qu'à distinguer clairement les mécanismes de brassage intra- et interchromosomique. Ces conceptions spontanées, parfois tenaces, constituent de véritables obstacles épistémologiques entravant la compréhension de la diversité génétique.

C'est dans ce contexte que nous avons conçu et mis en œuvre un débat scientifique à partir de productions individuelles puis collectives. Cette approche nous a permis d'observer comment les interactions langagières entre apprenants favorisent l'émergence, la confrontation et la révision des modèles explicatifs. Elle nous a également conduit à formuler la question de recherche suivante : **comment les interactions langagières, lors d'un débat scientifique, permettent-elles de problématiser sur le rôle de la méiose et de la fécondation dans la diversité phénotypique ?**

Notre objectif est ainsi d'analyser les modèles explicatifs produits par les apprenants, d'identifier les obstacles épistémologiques associés et de comprendre la manière dont le débat scientifique contribue à l'appropriation progressive

du modèle scientifique du brassage interchromosomique. Les trois modèles principaux mis en évidence à savoir : un modèle basé sur les anomalies de séparation chromosomique (modèle explicatif A), un modèle fondé sur une confusion entre brassage intra- et interchromosomique (modèle explicatif B) et un modèle conforme à la logique de l'assortiment indépendant et de la fécondation (modèle explicatif C) constituent le cœur de l'analyse didactique menée.

Pour comprendre les dynamiques cognitives et interactionnelles à l'œuvre dans ce débat scientifique, il est nécessaire de mobiliser un ensemble de repères conceptuels issus de la problématisation, de la modélisation et de l'argumentation. Ces trois cadres théoriques, complémentaires et solidement ancrés dans la didactique des sciences, structurent l'analyse que nous allons présenter :

### **1. Cadre théorique : problématisation, modélisation et argumentation**

L'analyse du débat scientifique mené en Terminale D mobilise trois approches complémentaires : la problématisation, la modélisation scientifique et l'argumentation. Ces cadres permettent d'examiner comment les apprenants construisent, transforment et justifient leurs modèles explicatifs de la méiose et du brassage génétique.

### **1.1 - La problématisation : organiser un espace de questions possibles**

La problématisation éclaire la manière dont les élèves passent d'une simple question à un véritable problème scientifique. Comme l'écrit Fabre, « problématiser, c'est construire un système de questions dont les réponses ne sont pas immédiatement disponibles, mais doivent être élaborées en confrontant plusieurs possibles explicatifs » (1993). Cette exigence d'exploration est renforcée par Orange qui rappelle que « la pertinence d'un modèle dépend des contraintes qui le rendent plus ou moins acceptable » (2005). Sur le plan épistémologique, Bachelard souligne que tout progrès conceptuel suppose une rupture, puisqu'« on connaît contre une connaissance antérieure, en détruisant des connaissances mal faites » (1938). Dans ce travail, la problématisation permet donc d'analyser comment les apprenants transforment l'énoncé initial sur la diversité phénotypique en une recherche mécaniste mobilisant méiose, brassage génétique et fécondation.

Dans notre étude, la problématisation permet d'analyser :

- la manière dont les apprenants construisent le problème du brassage interchromosomique ;
- les obstacles conceptuels (confusion méiose / Brassage, génotype/ phénotype, hasard/déterminant) ;
- les tensions entre savoirs scolaires et savoirs scientifiques ;
- la formulation des questions pertinentes par référence.

Après avoir problématisé, les apprenants doivent représenter ces possibles : c'est le rôle de la modélisation.

### **1.2- La modélisation : représenter ce qui n'est pas visible**

La génétique exige un effort de représentation des entités invisibles, ce qui confère à la modélisation une place centrale. Giere rappelle que « les modèles ne sont pas des descriptions littérales du monde, mais des représentations conçues pour être utiles » (1999), ce qui permet d'évaluer les affiches comme de véritables outils cognitifs. Dans cette même perspective, Gilbert et Justi soulignent qu'« apprendre les sciences, c'est apprendre à comprendre, construire et utiliser des modèles » (2000). Tiberghien complète en précisant que « le modèle est un outil de pensée permettant de rendre intelligible un phénomène ; il ne se confond jamais avec celui-ci » (1994). Ainsi, les productions des groupes qu'il s'agisse de modèles explicatifs erronés (A), partiels (B) ou scientifiquement corrects (C) constituent des structures interprétatives construites par les apprenants pour expliquer le brassage génétique. La modélisation nous sert à analyser :

- les modèles mobilisés par les apprenants (schémas de méiose, tableau de fécondation et probabiliste) ;
- la capacité à passer du modèle chromosomique au modèle phénotypique ;
- les amplifications ou distorsions du modèle scientifique ;
- la cohérence interne des représentations.

Dans ce travail, nous examinerons la qualité des schémas produits, la précision de l'écriture des génotypes en lien avec les phénotypes, la capacité de généralisation et la cohérence logique des explications.

Une fois ces modèles construits, ils doivent être mis à l'épreuve : c'est la fonction de l'argumentation.

### **1.3- L'argumentation : confronter et justifier les modèles**

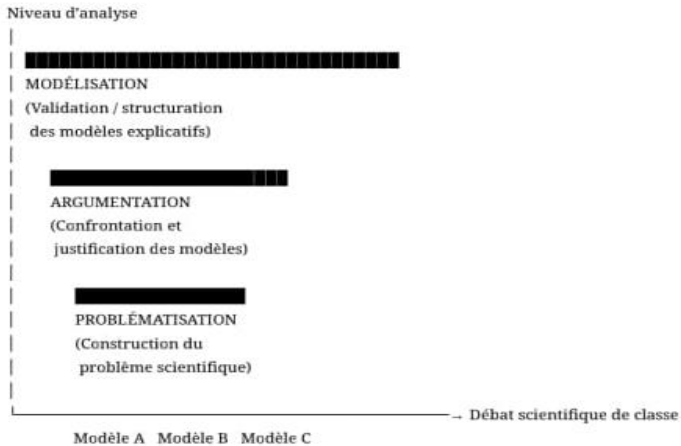
Le débat scientifique en classe offre un cadre privilégié pour analyser la manière dont les élèves justifient leurs explications. Selon Toulmin, « un argument est une assertion appuyée par des données, des garanties et des justifications » (1958), ce qui permet d'examiner précisément la structure argumentative des échanges entre groupes. Osborne et Erduran insistent sur le fait que « la critique raisonnée des explications constitue un moyen fondamental pour développer la compréhension scientifique » (2004), ce qui justifie l'organisation d'un débat contradictoire autour des affiches. Pour Jiménez-Aleixandre, « argumenter en sciences, c'est mettre à l'épreuve des explications à la lumière de preuves et de critères épistémiques » (2008). Enfin, Mercer rappelle que « la pensée se développe grâce aux formes de dialogue qui permettent la construction conjointe de sens » (2000). L'argumentation devient donc le lieu de transformation des modèles : elle permet la déstabilisation des conceptions initiales, la reformulation de mécanismes et l'ajustement collectif des explications vers le modèle scientifique (C). L'argumentation permet d'étudier :

- la nature des échanges lors des débats ;
- la structuration des arguments avancés (affirmation, justification et preuves) ;
- l'usage des données scientifiques produites ;
- la capacité de réfutation et de validation collective.

En somme ces trois cadres complémentaires (Problématisation, Modélisation, Argumentation) fonctionnent ensemble pour rendre compte :

- de l'examen du problème scientifique construit par les apprenants et de la mise en tension des explications (problématisation) ;
- de leur formalisation en représentations mécanistes pour analyser la structuration explicative (modélisation) ;
- de leur mise à l'épreuve critique afin d'étudier la dynamique discursive et la validation des savoirs lors du débat scientifique sur le brassage interchromosomique et la diversité phénotypique (argumentation).

Cette articulation éclaire la dynamique conceptuelle observée dans la classe et explique l'émergence progressive des trois modèles explicatifs comme résumé dans l'histogramme ci-dessous.



### Titre : Histogramme montrant la progression analytique dans le débat scientifique de classe

La problématisation constitue le premier niveau, à partir duquel émergent les modèles explicatifs A, B et C.

L'argumentation correspond au niveau intermédiaire où les modèles sont confrontés, défendus et discutés.

La modélisation représente le niveau supérieur, où les modèles sont structurés, comparés et évalués par rapport au savoir scientifique de référence.

Le modèle est celui qui atteint le plus haut niveau de stabilisation.

On signale que le niveau atteint par les barres noires n'a pas une signification quantitative mais plutôt le degré de stabilisation des modèles explicatifs à chacun des niveaux d'analyse scientifique. La longueur des barres indique la progression de la structuration conceptuelle des modèles.

Ces fondements théoriques orientent la méthodologie de recherche.

## 2- Méthodologie de recherche

La méthodologie adoptée dans cette étude s'inscrit dans une perspective qualitative et didactique visant à analyser un débat scientifique réel mené en classe de Terminale D dans un collège public (CEG Danto) au Bénin. Elle permet d'explorer comment les interactions langagières, couplées à un travail de modélisation, conduisent à la problématisation du rôle de la méiose et de la fécondation dans la diversité phénotypique.

### 2.1 - Contexte de la recherche et participants

Le travail de recherche a été conduit par une équipe formée d'un enseignant de SVT expérimenté (Octave), de deux doctorants en Didactique (Paul : D1 et Luc : D2). L'échantillon est composé de 36 apprenants d'âge compris entre 17 et 19 ans de Terminale D tous venant de la 1<sup>ère</sup> D dont 9 filles et 27 garçons comme l'indique le tableau ci-dessous.

| Filles                                                                        | Garçons                                                                                                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Carine, Edith, Joliane, Valentine, Raimath, Adélaïde, Ferarie, Adèle et Marie | Ignace, Anicet, Benjamin, Joackim, Prémus, Bruno, Barnabé, Cosme, Théophile, Moïse, Patrick, Judicaël, Léonce, Georges, Jules, Ricardo, Constant, Marcel, Marius, Vinock, Kamal, Victor, Sévérin, Salissou, Joël, Roméo et Ezékiel |

**Tableau :** Liste nominative des apprenants de l'échantillonnage

Ce groupe correspond à une classe de Terminale D d'un Collège public béninois, suivant le programme officiel des SVT. Les apprenants ont une familiarité théorique avec la reproduction sexuée et la méiose, mais leurs conceptions restent souvent influencées par des modèles intuitifs ou partiellement construits, ce qui justifie la mise en place d'un dispositif d'investigation collective fondé sur le débat scientifique.

## **2.2- Dispositif didactique**

Une situation forcée a été conçue. Il s'agit d'une séquence élaborée par le groupe de recherche (recherche collaborative) dans le but de créer des phénomènes didactiques, des apprentissages et d'explorer de nouveaux territoires de l'espace didactique. L'implication de l'enseignant qui connaît très bien les caractéristiques de sa classe et de ses apprenants dans le choix des situations constitue une particularité et une nécessité de cette séquence. La séquence forcée ne cherche pas à construire des séquences « clés en main ». Elle ne cherche pas à construire des séquences « reproductibles » et « exemplaires », elle cherche à faire évoluer en cherchant à comprendre comment ça fonctionne de manière à faire ressortir les possibles, les impossibles et les raisons qui sous-tendent telle ou telle solution. Ce type de séquences se définit par deux catégories d'objectifs (Orange, 2010) :

✓ **Les objectifs de recherche** (quels phénomènes peut-on observer et/ ou construire ?) : ils sont fixés par le groupe de recherche en référence au

cadre théorique de la recherche qu'ils visent à développer. Les chercheurs didacticiens contrôlent ces objectifs puisqu'il s'agit d'une co-construction.

✓ **Les objectifs pédagogiques et d'apprentissages** (quels sont les apprentissages que l'on vise ?) : ils intègrent les objectifs que l'enseignant se fixe normalement pour ses élèves en référence aux recommandations officielles (guide et programme béninois Terminale D 2011). Toutefois, ils peuvent être dépassés, selon les besoins qu'exige la prise en compte du cadre théorique et des objectifs de la recherche. Ici les apprenants devraient s'approprier les deux brassages génétiques de la méiose et la fécondation dans la diversité phénotypique pour les réinvestir dans les études de croisements chez les animaux et chez les végétaux. Ces objectifs sont définis par le groupe de recherche et contrôlés par l'enseignant. Ils prennent en considération le cadre théorique et les objectifs de la recherche.

### ***2.3-- Dispositif pédagogique : productions individuelles, travail de groupe et débat scientifique***

Il est structuré en quatre étapes.

#### **Étape 1 : Productions individuelles (phase de problématisation personnelle)**

Chaque apprenant a d'abord produit une réponse écrite individuelle face à la situation forcée portant sur le rôle de la méiose et de la fécondation dans la diversité phénotypique

dont l'intitulé est « sachant que le brassage interchromosomique correspond à la répartition aléatoire des chromosomes homologues en anaphase 1, propose à partir d'une série de schémas et d'un texte explicatif l'origine de la diversité phénotypique au sein de l'espèce (tu prendras  $2n=4$  chromosomes et deux couples d'allèles A/a et B/b avec chaque parent hétérozygote pour les deux gènes). Ces 36 productions constituent les données de départ, permettant de repérer les conceptions initiales et les obstacles épistémologiques présents avant le débat.

### **Étape 2 : Constitution de 7 groupes homogènes**

À partir des productions individuelles, les élèves ont été répartis en 7 groupes homogènes. L'homogénéité ne porte pas sur le niveau scolaire général mais sur la similarité des conceptions repérées dans leurs productions individuelles. Cette stratégie vise :

- la stabilisation des conceptions initiales ;
- la construction d'un modèle collectif cohérent à l'intérieur du groupe ;
- l'augmentation de la lisibilité des divergences entre groupes pour le débat.

### **Étape 3 : Produits collectifs et affiches**

Chaque groupe a ensuite élaboré une production collective, matérialisée par une affiche explicative, représentant :

- leur modèle explicatif du brassage génétique,
- leurs schémas de méiose,
- leurs liens causaux entre méiose, fécondation et diversité phénotypique.

Ces affiches constituent les artefacts didactiques centraux du débat scientifique.

### Étape 4 : Débat scientifique en classe entière

Les 7 groupes ont présenté et défendu leur modèle devant les autres, selon une dynamique d'argumentation inspirée de Toulmin (1958) et des cadres d'Osborne & Erduran.

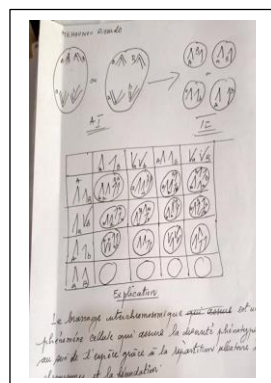
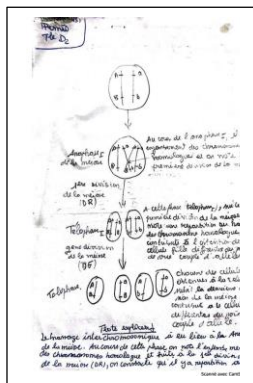
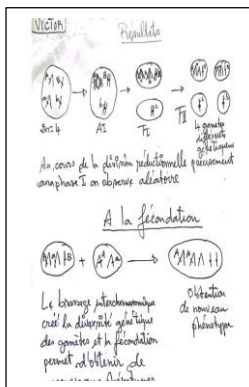
Le débat visait :

1. la critique mutuelle des modèles ;
2. la mise en tension des conceptions ;
3. la recherche collective d'un modèle explicatif robuste et scientifiquement valide.

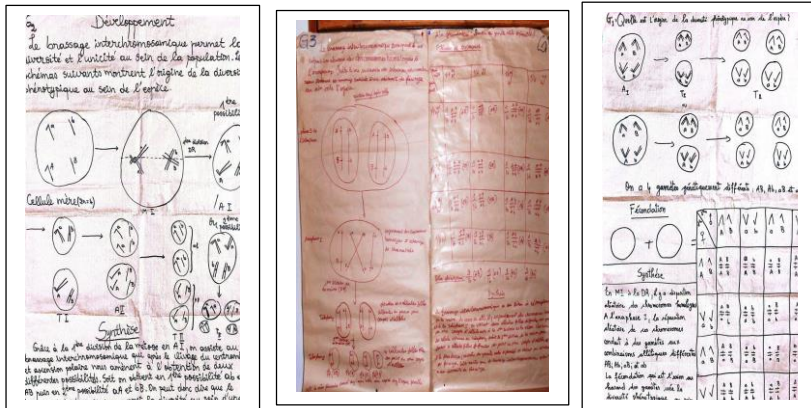
### 3- Recueil des données

Les données recueillies comprennent :

- les 36 productions individuelles dont les trois illustrant les trois modèles sont les suivantes



- Les trois affiches des sept, révélatrices des modèles explicatifs A, B et C sont les suivantes



- les interventions orales lors du débat (prises en notes et catégorisées) :

✓ Extrait 1 justifiant le modèle explicatif A :  
intervention 282 - 2283

|     |                                                                                                                                                                               |
|-----|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 282 | Kamal : Ce qui est normal, Monsieur. Les gamètes Aa et Bb peuvent être obtenus.                                                                                               |
| 283 | P <sub>2</sub> : Je ne dis pas non. Je n'ai pas d'objection par rapport à ce que vous dites. Vous m'avez montré une possibilité où les homologues se retrouveraient ensemble. |

✓ Extrait 2 justifiant le modèle explicatif B :  
intervention 654

|     |                                                                                                                                                                                                     |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 654 | Roméo : L'enjambement et l'échange des chromatides. Et cela s'observe à la télophase I dans l'une des deux cellules on a (a B) et dans l'autre (A b). Ce qui montre que la séparation est aléatoire |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- ✓ Extrait 3 justifiant le modèle explicatif C : intervention 892

|     |                                                                                                                                                                                                                  |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 892 | Ricardo : La répartition aléatoire des chromosomes homologues à l'anaphase I est à l'origine de la diversité phénotypique au sein de l'espèce car lors de la fécondation on obtient une diversité de phénotypes. |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

- ✓ Extrait 4 justifiant la dynamique du débat de classe conduisant à la réfutation de modèle explicatifs 124 - 125

|     |                                                                                                      |
|-----|------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 124 | P <sub>2</sub> : Donc les combinaisons Aa et Bb n'y figurent pas.                                    |
| 125 | Cosme: C'était une erreur. Car dans un gamète on ne peut pas avoir un couple d'allèles à l'intérieur |

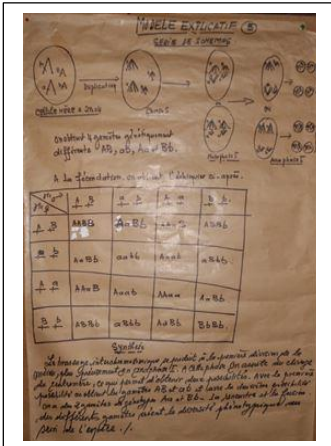
L'analyse didactique du débat de classe a suivi une double grille :

- Analyse épistémologique
  - ✓ Cohérence du modèle décrit
  - ✓ Pertinence des mécanismes évoqués
  - ✓ Conformité avec le modèle génétique de référence
- Analyse des interactions langagières
  - ✓ Types d'arguments mobilisés
  - ✓ Justifications, données, la structure argumentative
  - ✓ Indices de rupture conceptuelle (au sens de Bachelard)

Le résultat de l'analyse du débat de classe sur les sept affiches a conduit à l'émergence de trois modèles explicatifs que sont :

❖ **Modèle explicatif A : Les anomalies de séparation des chromosomes aboutissant aux gamètes aneuploïdes**

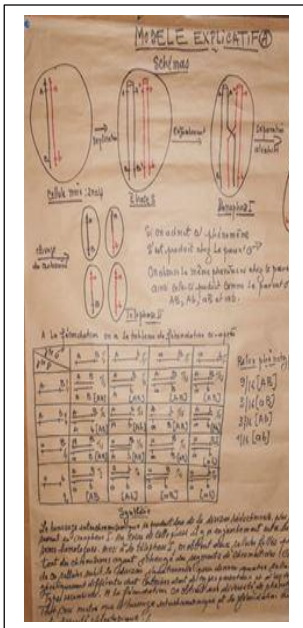
Les apprenants expliquent la diversité par des erreurs de méiose (non-disjonction), produisant des gamètes de type Aa et Bb. Ce modèle repose sur un obstacle épistémologique : la confusion entre variation pathologique et variation normale.



Le brassage interchromosomique se produit à la première division de la méiose, plus précisément en anaphase I. A cette phase, on assiste au clivage du centromère, ce qui permet d'obtenir deux possibilités. Avec la première possibilité on obtient les gamètes AB et ab et avec la deuxième possibilité on a 2 gamètes de génotypes Aa et Bb. La rencontre et la fusion des différents gamètes créent la diversité phénotypique au sein de l'espèce.

❖ **Modèle explicatif B - Le brassage intrachromosomique à la place du brassage interchromosomique**

Les apprenants attribuent tout le brassage génétique au crossing-over, en négligeant l'assortiment indépendant. Cet obstacle est bien documenté : survalorisation du crossing-over, vision "mélange général".



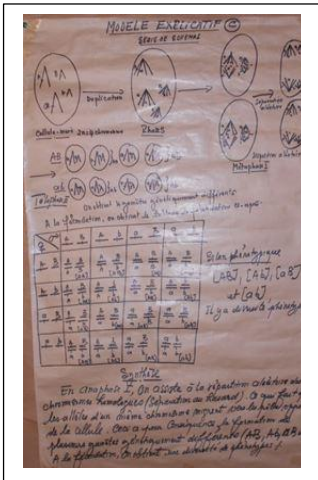
Le brassage interchromosomique se produit lors de la division réductionnelle plus précisément en anaphase I. Au cours de cette phase il y a enjambement entre les chromosomes homologues. Ainsi à la télophase I, on obtient deux cellules filles présentant des chromosomes ayant échangés des segments de chromatides. Chacune de ces cellules subit la division équationnelle pour donner quatre cellules dont les types parentaux et d'autres de type recombinés. A la fécondation on obtient une diversité de phénotype. Tout ceci montre que le brassage interchromosomique et la fécondation créent la diversité phénotypique

### ❖ Modèle explicatif C - Le modèle scientifique du brassage interchromosomique articulé à la fécondation

Les apprenants reconnaissent :

- l'assortiment indépendant des chromosomes homologues ;
- la formation de  $2^n$  gamètes différents ;
- la fécondation comme second niveau de brassage.

Ce modèle s'aligne sur la génétique mendélienne contemporaine.



En anaphase I, on assiste à la répartition aléatoire des chromosomes homologues (séparation au hasard). Ce qui fait que les allèles d'un même chromosome migrent vers les pôles opposés de la cellule. Ceci a pour conséquence, la formation de plusieurs gamètes génétiquement différents (AB, Ab, aB, ab). A la fécondation, on obtient une diversité de phénotypes.

Ces modèles explicatifs révélateurs des conceptions effectives des élèves, fournissent une entrée féconde pour analyser les obstacles cognitifs, les difficultés de modélisation et les enjeux épistémologiques inhérents à l'enseignement de la génétique.

Ainsi ces modèles explicatifs nécessitent une analyse théorique, didactique et épistémologique approfondie.

#### 4- Analyse théorique, didactique et épistémologiques des modèles explicatifs

Les modèles explicatifs du brassage interchromosomique constituent des outils essentiels de construction du savoir biologique scolaire. Leur compréhension par les apprenants dépend autant de leur validité scientifique que de leur mise en forme didactique. Il devient alors nécessaire d'examiner les choix conceptuels qu'ils mobilisent. L'analyse didactique

permet d'identifier les obstacles d'apprentissage et les stratégies de médiation. L'approche épistémologique, quant à elle, interroge la nature du savoir biologique véhiculé et ses limites explicatives.

#### **4.1- Analyse théorique des trois modèles explicatifs**

##### **❖ Modèle A : les anomalies de séparation des chromosomes aboutissant aux gamètes aneuploïdes**

- **Description du modèle**

Les apprenants interprètent la variabilité des gamètes non comme un phénomène régulier et contrôlé, mais comme le résultat d'une anomalie chromosomique, (non disjonction, perte ou gain de chromosomes). Le brassage interchromosomique est alors conçu comme un événement pathologique.

- **Analyse théorique**

Ce modèle témoigne d'une confusion entre processus normatif et processus accidentel. Il s'appuie sur une logique causale intuitive. La différence observée provient d'un dysfonctionnement. Cette causalité déviante est fréquente en génétique scolaire car l'élève associe spontanément le changement ou la variation à l'erreur, plutôt qu'à la combinatoire.

Il s'agit d'une conception pré-déterministe centrée sur les anomalies révélatrices d'un obstacle structurel. La difficulté à comprendre que la méiose est un mécanisme probabiliste mais contrôlé, produisant une diversité ordinaire non pathologique.

- **Lien avec la Fécondation**

Dans ce modèle, la fécondation est décrite comme un événement risqué, conduisant potentiellement à des anomalies zygotiques. L'élève intègre l'anomalie comme une cause immédiate de la diversité phénotypique.

- ❖ **Le modèle B : brassage intrachromosomique substitué au Brassage interchromosomique.**

- **Description du modèle**

Les élèves mobilisent le schéma du crossing-over, croyant qu'il s'agit du principal moteur de diversification entre gamètes, au détriment de la séparation indépendante des chromosomes homologues.

- **Analyse théorique**

Ce modèle reflète un effet de saillance didactique : dans la plupart ressources pédagogiques, le crossing-over est illustré de manière spectaculaire (chromosomes colorés, points de chiasma), ce qui pousse les élèves à lui attribuer une importance systématiquement supérieure à celle du brassage interchromosomique.

Le brassage interchromosomique apparaît conceptuellement moins visible : il repose sur la combinatoire et non sur un événement localisé.

Ce modèle révèle :

- ✓ Une non-maîtrise du niveau d'organisation (confusion entre événements touchant un chromosome et ceux touchant des paires entières) ;

- ✓ Une difficulté à s'approprier la probabilisation de la méiose.

- **Lien avec la fécondation**

Dans ces schémas, la fécondation est souvent présentée comme l'addition de gamètes déjà recombinaisonnés, mais sans mise en avant du rôle de la double combinatoire : Méiose + fécondation.

La diversité est attribuée à la micro-variabilité génétique induite par les échanges de chromatides plutôt qu'à la recombinaison globale des ensembles chromosomiques.

- ❖ **Modèle explicatif C : représentation correcte du brassage interchromosomique**

- **Description du modèle**

Les affiches de ce modèle montrent une séparation indépendante des paires homologues en anaphase I, avec une mise en évidence des  $2n$  combinaisons possibles pour  $n$  paires de chromosomes.

- **Analyse théorique**

Ce modèle atteste une véritable compréhension du caractère :

- ✓ aléatoire,
- ✓ systématique,
- ✓ non pathologique du brassage interchromosomique.

Il traduit la maîtrise de deux idées fondamentales :

- la méiose génère naturellement une disjonction indépendante des chromosomes ;
- la fécondation multiplie encore cette diversité par la rencontre de deux gamètes eux-mêmes combinés.

Ce modèle montre que certains élèves ont réussi à dépasser le raisonnement linéaire pour intégrer un modèle combinatoire, ce qui constitue un saut cognitif majeur.

- **Lien avec la fécondation**

La fécondation est ici pensée comme un phénomène d'amplification probabiliste. Les élèves identifient la fécondation comme un second niveau de brassage et non comme une simple juxtaposition.

#### ***4.2- Analyse didactique des modèles explicatifs***

##### ***4.2.1- Obstacles didactiques majeurs révélés par les modèles explicatifs***

L'analyse croisée des trois modèles explicatifs met en évidence des obstacles majeurs que l'on peut regrouper comme suit :

- réduction du phénotype à un déterminisme simple ;
- confusion entre anomalie et variabilité normale (modèle A) : obstacle classique lié au manque de distinction entre variation génétique et mutation ;
- primauté donnée au modèle explicatif B : effet de survalorisation du crossing-over dans les manuels ;
- absence de raisonnement probabiliste sur la diversité produite ;

- confusion entre mécanisme chromosomique et résultats phénotypiques (Obstacle ontologique).

L'étude des modèles explicatifs autour du brassage interchromosomique constitue un levier puissant pour comprendre les obstacles conceptuels rencontrés par les apprenants de ce collège béninois.

#### ***4.2.2- Les affiches comme objets sémiotiques intermédiaires***

Les affiches produites par les groupes homogènes jouent un rôle central :

- elles rendent visibles les conceptions implicites ;
- elles permettent à l'enseignant d'analyser les mécanismes de raisonnement ;
- elles fournissent un support de débat scientifique entre pairs, méthode particulièrement efficace pour faire évoluer les représentations ;
- elles stabilisent temporairement un modèle ;
- elles rendent visibles l'architecture explicative ;
- elles permettent l'analyse des liens causaux ;
- Elles transforment la représentation mentale en objet partageable ;
- Elles fonctionnent comme médiateurs didactiques puissants.

#### ***4.2.3- Leviers didactiques pour corriger les conceptions erronées***

Les corrections des conceptions erronées des apprenants s'appuient sur plusieurs leviers didactiques notamment :

- introduire des activités de simulation combinatoire, par exemple avec des jetons colorés représentant les chromosomes ;
- travailler explicitement la distinction entre événement normatif (brassages) et événement pathologique (non-disjonction) ;
- valoriser les modèles iconiques du brassage interchromosomique, souvent peu représentés visuellement ;
- mobiliser la démarche d'investigation par comparaison de modèles, au lieu d'une exposition magistrale ;
- articuler explicitement entre niveaux chromosomique, génotypique et phénotypique.

#### **4.2.4- Le débat comme opérateur de déstabilisation cognitive**

Le débat scientifique agit comme :

- révélateur d'incohérences internes ;
- espace de comparaison intermodèle ;
- lieu de justification argumentée.

Il permet :

- l'extériorisation des conceptions ;
- la confrontation des contraintes ;
- la mise en évidence des impossibilités biologiques ;

Ce n'est pas la correction magistrale qui fait évoluer les modèles, mais la contradiction entre pairs. Ainsi le débat permet le passage progressif du modèle explicatif A

(Anomalies) au modèle explicatif B (Explication par évènement local) et enfin au modèle C (Explication systémique probabiliste). Ce passage montre une évolution du statut de l'explication scientifique.

#### **4.3. Analyse épistémologique des trois modèles explicatifs**

##### **4.3.1- Nature du savoir génétique enseigné**

La génétique scolaire est une reconstruction simplifiée de la génétique scientifique.

Or, les concepts enseignés (chromosomes homologues, méiose, combinatoire) sont : abstraits, fortement modélisés, probabilistes, non observables directement.

Cette distance entre le phénomène réel et sa représentation contribue aux erreurs observées.

##### **4.3.2- Tensions épistémologiques révélées par les modèles**

- **Tension entre linéarité et combinatoire**

Les apprenants privilégient la causalité linéaire : une cause - un effet.

La méiose impose une causalité multipolaire : une structure - une multiplicité d'effets.

- **Tension entre visible et conceptuellement nécessaire**

Les phénomènes visibles (chiasmata) sont survalorisés au détriment des mécanismes discrets (indépendance des paires).

- **Tension entre déterminisme et probabilisme**

Le concept de hasard contrôlé est contre-intuitif dans les contextes éducatifs où la biologie est souvent enseignée de façon déterministe.

- **Tension entre normalité et pathologie**

Les apprenants associent le changement à l'erreur, révélant une conception fixiste héritée des perceptions sociales de l'ADN comme code parfait.

#### **4.3.3- Implication épistémologique**

Le brassage interchromosomique devient un outil de formation à la pensée scientifique :

- il introduit l'incertitude ;
- il déstabilise les conceptions naïves ;
- il oblige à articuler, modèle et réalité biologique.

L'analyse des résultats obtenus éclairent désormais la discussion critique.

## **5- Discussion**

L'analyse des modèles explicatifs proposés à l'issue des débats de classe met en évidence une diversité de raisonnement biologique traduisant à la fois des tentatives d'appropriation des mécanismes de la méiose et des obstacles conceptuels persistants.

Les modèles explicatifs A, B et C illustrent les différents niveaux de compréhension du brassage génétique et de son rôle dans la diversité phénotypique.

❖ **Cas du modèle explicatif A :**

Le modèle explicatif A repose sur l'hypothèse d'une anomalie de séparation des chromosomes homologues ou de chromatides sœurs conduisant à la formation des gamètes portant simultanément les allèles A et a ou B et b. Ce raisonnement traduit une confusion entre le brassage génétique et la non-disjonction chromosomique.

D'un point de vue scientifique, ce modèle est biologiquement incorrect puisqu'un gamète ne peut jamais contenir deux allèles d'un même gène sauf en cas d'anomalie chromosomique majeure (aneuploidie). Cette anomalie chromosomique n'explique pas la diversité phénotypique normale observée chez les individus. Les apprenants attribuent ici à un mécanisme pathologique un rôle explicatif de la variabilité génétique.

Sur le plan épistémologique, ce modèle révèle une logique causale naïve dans laquelle toute diversité observable est interprétée comme résultant d'un dysfonctionnement du processus biologique.

Au plan didactique, ce modèle met en évidence un obstacle de type ontogénétique lié à une compréhension incomplète du statut des gamètes et de la notion d'haploïdie. Ce modèle souligne ainsi la nécessité de renforcer l'enseignement des niveaux d'organisation du vivant (cellulaire, chromosomique et génétique).

❖ **Cas du modèle explicatif B :**

Le modèle explicatif B mobilise le mécanisme du brassage intra-chromosomique (crossing-over) pour expliquer une situation relevant du brassage inter chromosomique. Ce modèle est intéressant car il témoigne d'une appropriation partielle mais mal contextualisée des connaissances.

Scientifiquement, bien que le crossing-over effectivement à la diversité génotypique des gamètes, il ne peut expliquer la ségrégation indépendante des gènes portés par des paires de chromosomes différente. L'erreur ne réside pas dans le mécanisme évoqué mais dans son champ de validité.

Sur le plan didactique, ce modèle illustre un glissement conceptuel fréquent chez les apprenants : un mécanisme correctement mémorisé est utilisé de manière générique pour expliquer toute forme de diversité.

Epistémologiquement, il s'agit d'un raisonnement par sur-généralisation où l'apprenant ne discrimine pas les conditions d'application des modèles explicatifs.

Ce raisonnement constitue néanmoins une base pédagogique féconde car il montre que les apprenants raisonnent dans un cadre mécaniste pertinent, ce qui permet un réajustement conceptuel plutôt qu'une remise en cause totale du raisonnement.

❖ **Cas du modèle explicatif C :**

Le modèle explicatif C correspond au modèle scientifique de référence. Il articule correctement séparation indépendante des paires de chromosomes homologues en anaphase 1 de la méiose avec la fécondation aléatoire des

gamètes expliquant ainsi la diversité de combinaisons génotypique et phénotypique observée.

Ce modèle témoigne une maîtrise satisfaisante intégrant à la fois la dimension probabiliste du brassage interchromosomique et le rôle amplificateur de la diversité occasionnée par la fécondation. Il traduit un raisonnement conforme aux savoirs biologiques institutionnalisés.

Du point de vue didactique, ce modèle constitue un indicateur de réussite de l'enseignement mais aussi un outil de médiation pour confronter les autres modèles lors des débats scientifiques.

Du point de vue épistémologique, le modèle *C* montre une compréhension du caractère non finaliste et aléatoire des phénomènes biologiques, marqueurs essentiels de l'appropriation du raisonnement scientifique.

La coexistence de ces trois modèles explicatifs au sein d'une même classe révèle l'intérêt du débat scientifique comme dispositif didactique. La confrontation argumentée de ces modèles permet aux apprenants de dépasser les conceptions erronées par un processus de reconstruction conceptuelle.

Ainsi, le passage de modèle *A*, *B* vers *C* ne relève pas d'une simple correction mais d'une évolution des modes de raisonnement, passant d'explications fondées sur les anomalies ou des analogies approximatives à une compréhension systémique et probabiliste du vivant.

Cette analyse discussive montre que les interactions langagières permettent :

- l'explicitation des représentations initiales, souvent implicites ;
- la mise en tension des modèles, conduisant à la nécessité d'une explication plus robuste ;
- la construction d'une problématique centrale : comment des mécanismes cellulaires invisibles produisent-ils de la diversité observable ?
- l'évolution des modèles et l'accès progressif au modèle scientifique.

L'analyse des modèles explicatifs A, B et C produits lors du débat scientifique s'inscrit dans un ensemble plus large de recherches internationales portant sur les difficultés d'apprentissage en génétique et sur la construction des modèles scientifiques en classe de Terminale D.

- Les difficultés conceptuelles en génétique : confirmation des résultats internationaux.

Les conceptions révélées par les modèles A et B confirment des difficultés largement documentées dans la littérature internationale. Les travaux de John Lewis & Ulrich Kattmann (2004) montrent que les élèves confondent fréquemment : gène et chromosome ; information génétique et support matériel ; mutation et variation normale.

De même, Rosalind Duncan et al. (2009) ont mis en évidence que la compréhension de la méiose nécessite une progression conceptuelle structurée intégrant : niveaux d'organisation, probabilité et combinatoire.

Dans notre étude, le modèle A (variation par anomalie) illustre précisément ce que Duncan appelle une

«transition inachevée » entre compréhension phénoménologique et compréhension mécaniste.

- La survalorisation du crossing-over : un phénomène international.

Le modèle B, qui substitue le brassage intrachromosomique au brassage interchromosomique, rejoint les observations de Nina Gericke & Marianne Hagberg (2010). Ces auteurs montrent que les manuels scolaires accordent une forte visibilité iconique au crossing-over (chromosomes colorés, chiasmas visibles), ce qui crée un effet de saillance cognitive.

Notre étude confirme empiriquement cet effet dans le contexte béninois : Ce qui est visuellement spectaculaire est interprété comme causalement central. Ce phénomène rejoint également les analyses de John Clement (2000) sur la dominance des modèles imagés dans l'apprentissage scientifique.

- Le statut du modèle scientifique : cohérence avec la littérature internationale.

Les trois modèles identifiés illustrent différentes conceptions du statut des modèles scientifiques.

Selon Ronald Giere (1999), un modèle scientifique n'est ni une copie du réel ni une simple illustration, mais une représentation partielle et fonctionnelle.

Dans notre étude : Le modèle A est cohérent localement mais invalide globalement, le modèle B est valide dans un domaine restreint mais mal appliqué et le modèle C correspond au modèle de référence stabilisé. Cette

hiérarchie correspond aux travaux de Robin Justi & John K. Gilbert (2002) qui distinguent : modèles naïfs, modèles intermédiaires et modèles scientifiques stabilisés.

Notre étude apporte une contribution originale en montrant que le débat scientifique agit comme mécanisme de transition entre ces niveaux.

- Argumentation scientifique et évolution conceptuelle

Le rôle structurant du débat observé dans votre recherche est cohérent avec les travaux de :

Jonathan Osborne Sibel Erduran (2004), qui démontrent que la qualité de l'argumentation améliore la compréhension conceptuelle.

De même, Deanna Kuhn (1991) montre que l'argumentation favorise le passage d'un raisonnement intuitif à un raisonnement épistémique.

Notre dispositif confirme que : la réfutation entre pairs provoque des ruptures conceptuelles, la justification explicite oblige à clarifier les mécanismes, la contradiction rend visibles les impossibilités biologiques.

- Le hasard biologique et la pensée probabiliste.

La difficulté à intégrer l'aléatoire comme cause légitime rejoint les analyses épistémologiques contemporaines.

Les travaux de Richard Lewontin (dans *Introduction to Genetic Analysis*) insistent sur le fait que la génétique moderne repose sur des processus stochastiques structurés. En didactique, plusieurs recherches montrent que les apprenants associent spontanément :

Variation à erreur, notre modèle A illustre parfaitement cette tendance.

L'intégration du modèle C marque donc l'accès à une conception : non finaliste, probabiliste et systémique, ce qui constitue une véritable mutation épistémologique.

- Apport spécifique de notre étude au champ international.

Notre recherche apporte trois contributions originales :

- Contribution contextuelle

Peu d'études analysent les débats scientifiques en génétique dans le contexte ouest-africain.

Notre travail enrichit la diversité géographique des recherches en didactique.

- Contribution méthodologique

La constitution de groupes homogènes selon les conceptions initiales constitue une stratégie fine rarement exploitée dans les recherches internationales.

- Contribution théorique

Nous avons articulé explicitement les trois cadres théoriques : problématisation, modélisation et argumentation, ce qui a renforcé la cohérence analytique.

Les résultats obtenus dans cette étude rejoignent les travaux internationaux montrant que la compréhension de la méiose et du brassage génétique constitue un obstacle conceptuel majeur en génétique scolaire (Lewis & Kattmann, 2004 ; Duncan et al., 2009). La survalorisation du crossing-over observée dans le modèle B confirme les analyses de

Gericke & Hagberg (2010) relatives à l'effet de saillance iconique dans les manuels scolaires.

Par ailleurs, l'évolution des modèles explicatifs sous l'effet du débat scientifique s'inscrit dans la lignée des recherches sur l'argumentation en classe (Osborne & Erduran, 2004 ; Kuhn, 1991), montrant que la confrontation critique constitue un levier de transformation conceptuelle. Enfin, l'intégration progressive du hasard biologique dans le modèle *C* illustre l'accès à une rationalité probabiliste conforme à l'épistémologie contemporaine de la génétique (Giere, 1999 ; Lewontin, 2015), marquant ainsi une rupture avec les conceptions déterministes initiales.

Cependant, plusieurs obstacles persistent. Au nombre de ceux-ci on peut citer :

- la naturalisation de l'anomalie comme mécanisme normal ;
- la surestimation du crossing-over ;
- la difficulté à intégrer l'aléatoire parmi les causes légitimes ;
- la confusion entre allèle, chromatide et chromosome.

## 6- Limites et Perspectives

L'enseignement du brassage interchromosomique et de la diversité phénotypique en Terminale D au Bénin repose sur des modèles explicatifs indispensables mais porteurs de limites conceptuels et didactiques.

La simplification de ces modèles combinée à une explication insuffisante de leur statut épistémologique peut conduire à une compréhension fragmentaire des mécanismes génétiques

et de leur rôle dans la variabilité biologique. Sur le plan pédagogique, cette situation favorise une approche descriptive au détriment d'une démarche explicative et critique. Toutefois, ces limites ouvrent des perspectives importantes notamment la mise en débat scientifique des modèles en classe et une meilleure articulation entre analyse théorique, didactique et épistémologique afin de renforcer la compréhension conceptuelle et l'esprit critique des enfants.

### **6.1- Les limites de l'étude**

Cette recherche présente d'abord des limites théoriques liées à la simplification des mécanismes complexes et à la coexistence de modèles explicatifs particulièrement incompatibles nécessitant une reconstruction du savoir. Ensuite, sur le plan méthodologique, l'analyse repose principalement sur les débats de classe, ce qui limite la généralisation des résultats et l'objectivation des conceptions des apprenants. D'un point de vue didactique l'étude ne permet pas d'évaluer de manière longitudinale l'évolution conceptuelle des apprenants après le débat scientifique.

Les limites épistémologiques tiennent au statut accordé aux modèles scolaires souvent confondus par les apprenants avec des explications stabilisées. En outre, la place accordée à la fécondation dans les modèles A et B révèle une persistance d'obstacles épistémologiques non totalement déconstruits. Enfin, la portée socio-culturelle de la recherche reste circonscrite au contexte béninois de la terminale D sans

prise en compte des représentations culturelles liées à l'hérédité et à la diversité phénotypique.

Une fois les limites clarifiées, les perspectives s'élargissent.

## **6.2- Perspectives de l'étude**

Les perspectives de cette étude s'inscrivent d'abord dans le champ de la didactique des sciences, en ouvrant la voie à l'analyse comparative de dispositif de débat scientifique favorisant la construction de modèles explicatifs en génétique. Ensuite, sur le plan pédagogique, l'étude invite à expérimenter des stratégies d'enseignement intégrant davantage la modélisation, la confrontation d'idées et de l'accompagnement des obstacles conceptuels liés au brassage génétique.

Par ailleurs, les perspectives citoyennes et sociales concernent le développement de l'esprit critique des apprenants face au discours déterministe ou erroné sur l'hérédité et la diversité humaine. En matière de santé publique, une meilleure compréhension des mécanismes génétiques peut contribuer à une éducation sanitaire plus éclairée notamment sur les anomalies chromosomiques et leurs implications médicales et sociales. Enfin, les perspectives épistémologiques portent sur l'approfondissement du statut des modèles scientifiques scolaires en interrogeant leur rôle dans la construction du savoir, la gestion de l'incertitude et la distinction entre explication scientifique, savoir scolaire et représentation sociale.

L'étude du brassage génétique devient ainsi un espace où se rencontrent savoir scientifique, enjeux didactiques,

formation citoyenne et préoccupations sanitaires : une articulation riche, porteuse d'avenir, et essentielle au développement éducatif et social du Bénin. Ces analyses appellent une synthèse critique ouvrant sur des orientations pédagogiques et scientifiques susceptibles d'améliorer l'enseignement du brassage interchromosomique.

### **Conclusion**

L'analyse des modèles explicatifs produits lors du débat scientifique montre que l'enseignement du brassage interchromosomique ne constitue pas seulement une transmission de contenus génétiques, mais un véritable espace de transformation des modes de pensée.

La coexistence des modèles A, B et C révèle que les apprenants mobilisent des régimes explicatifs différents, allant d'une causalité linéaire centrée sur l'anomalie à une compréhension systémique intégrant la combinatoire et la probabilisation des mécanismes biologiques.

Le débat scientifique apparaît comme un dispositif didactique structurant permettant :

la mise en visibilité des conceptions implicites, la confrontation argumentée des modèles,

la déstabilisation des obstacles épistémologiques, l'accès progressif au modèle scientifique de référence. L'enjeu central dépasse la simple compréhension de la méiose.

Il concerne l'appropriation du statut du hasard en biologie.

Accepter que la diversité phénotypique résulte d'un mécanisme aléatoire mais structuré, non finaliste, non pathologique, constitue une rupture conceptuelle majeure.

Ainsi, l'enseignement du brassage interchromosomique participe à la formation d'une pensée probabiliste, la construction d'une rationalité scientifique non déterministe et l'éducation à la complexité biologique.

Dans le contexte béninois, cette formation revêt également une dimension citoyenne et sanitaire. Une compréhension rigoureuse des mécanismes de recombinaison génétique contribue à éclairer les questions liées à la consanguinité, aux maladies héréditaires et aux discours déterministes sur l'hérédité.

Au-delà du savoir disciplinaire, cette étude montre que le débat scientifique constitue un levier puissant pour articuler savoir biologique, réflexion épistémologique et formation citoyenne.

Cette étude renforce la culture scientifique en développant la capacité des apprenants à distinguer processus normaux (brassages intrachromosomique et interchromosomique) et processus pathologiques (non-disjonctions, anomalies de séparation). Cette distinction améliore non seulement leur compréhension de la diversité phénotypique, mais aussi leur aptitude à analyser les risques reproductifs, les maladies héréditaires ou les questions de dépistage.

Le brassage interchromosomique devient alors plus qu'un contenu de programme, il devient un outil de formation intellectuelle à la pensée scientifique contemporaine.

Ainsi, l'enseignement du brassage chromosomique, loin d'être un simple contenu biologique, possède une portée éducative, sanitaire et sociale majeure. Il aide à construire une société

mieux informée, mieux protégée et plus consciente des implications génétiques de ses choix reproductifs.

### Références bibliographiques

- ABOTO P. et ORANGE RAVACHOL D. (2025). Construction de savoir problématisé en Génétique sur le brassage interchromosomique en classe de Terminale D au Bénin. *Revue DELLA/ AFRIQUE* (p.225-261).
- ABOTO P. et al. (2024). Enseignement de la génétique dans l'Enseignement Secondaire au Bénin : Nécessité d'une refonte de curricula de formation. *Revue DELLA/ AFRIQUE* (p.207-278).
- ABOTO P. et al. (2023). Etude didactique des pratiques de classe sur l'évaluation formative instrumentée dans le Secondaire au Bénin. *Revue DELLA/ AFRIQUE* (p.263-278).
- Astolfi, J.-P. (1997). L'erreur, un outil pour enseigner. Paris : ESF.
- Bachelard, G. (1938). La formation de l'esprit scientifique. Paris : Vrin.
- Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, 84, 313-351.
- Brousseau, G. (1998). Théorie des situations didactiques. Grenoble : La Pensée Sauvage.
- Fabre, M. (1993). L'orientation scolaire entre problème et solution. Paris : PUF.
- Clement, J. (2000). Model based learning as a key research area for science education. *International Journal of Science Education*, 22(9), 1041-1053.

- De Vecchi, G., & Carmona-Magnaldi, N. (1996). *Faire construire des savoirs*. Paris : Hachette.
- Duncan, R., Rogat, A., & Yarden, A. (2009). A learning progression for deepening students' understandings of modern genetics. *Journal of Research in Science Teaching*, 46(6), 655-683.
- Erduran, S., Simon, S., & Osborne, J. (2004). TAPping into argumentation: Using Toulmin's Argument Pattern. *Science Education*, 88(6), 915-933.
- Fabre, M., & Orange, C. (1997). Le rôle de la problématisation dans l'apprentissage scientifique. *Aster*, 24, 37- 58.
- Gericke, N., & Hagberg, M. (2010). Conceptual variation in the depiction of gene function in upper secondary textbooks. *Science & Education*, 19(10), 963-994.
- Giere, R. (1999). *Science Without Laws*. Chicago: University of Chicago Press. (Très utile pour discuter du statut des modèles : "les modèles ne sont pas la réalité, mais des représentations utiles".)
- Gilbert, J. K, Boulter, C ; & Rutherford, M. (2000). *Models and Modeling in Science Education*. Dordrecht : Kluwer Academic Publishers.
- Griffiths, A. J. F., Wessler, S. R., Lewontin, R., & Carroll, S. (2015). *Introduction to Genetic Analysis* (11th ed.). New York: W.H. Freeman.
- Guide pédagogique des Sciences de la Vie et de la Terre, classe Terminale D version révisée
- Jiménez-Aleixandre, M.P., & Erduran, S. (2008). Argumentation in science education : An overview. In S. Justi, R, & Gilbert, J. (2002). *Modelling teachers views on the nature of Modelling and implications for the education*

of modellers. *International journal of science Education*, 24(4), 369-387.

Kuhn, D. (1991). *The Skills of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press.

Lewis, J., & Kattmann, U. (2004). Traits, genes, particles and information: Re-visiting students' understandings of genetics. *International Journal of Science Education*, 26(2), 195-206.

Lewontin, R. C. (2015). *Introduction to Genetic Analysis* (11th ed., with Griffiths et al.). New York: W.H. Freeman.

Mercer, N. (2000). *Words and Minds : How we use language to think together*. London; Routledge.

Orange, C. (2005). Problématisation et conceptualisation en sciences. *Éducation & Didactique*, 1(1), 9-32

Osborne, J., Erduran, S., & Simon, S. (2004). Enhancing the quality of argumentation in school science. *Journal of Research in Science Teaching*, 41(10), 994-1020.

Pierce, B. A. (2020). *Genetics: A Conceptual Approach* (7th ed.). New York: Macmillan Learning.

Programme d'étude **des** SVT, classe Terminale D version révisée en relue. Institut national d'ingénierie, de formation et de renforcement des capacités, Cotonou [https // educmaster. Bj](https://educmaster.Bj) ou [wwweducmater.com](http://www.educmater.com)

Reuter, Y., Cohen-Azria, C. et al. (2013). *Dictionnaire des concepts fondamentaux des didactiques*. Bruxelles : De Boeck.

Sensevy, G., & Quilio, S. (2002). Les interactions maître-élèves comme système sémiotique. *Revue Française de Pédagogie*, 138, 73-88.

Tiberghien, A. 1994. Modeling as a analyzing teaching - learning situations. *Learning and instruction*, (4), 71-87

Toulmin, S. (1958). *The Uses of Argument*. Cambridge: Cambridge University Press.