

# CONSTRUCTION DU SAVOIR PROBLEMATISE EN GENETIQUE SUR LE BRASSAGE INTERCHROMOSOMIQUE EN CLASSE DE TERMINALE D AU BENIN

**Paul K. ABOTO<sup>\*1</sup>,**  
**Denise ORANGE RAVACHOL<sup>2</sup>**

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

## Résumé

*Cet article s'intéresse à la production du savoir problématisé en génétique, à travers l'étude du brassage interchromosomique en classe de Terminale D. L'objectif est d'analyser comment la mise en œuvre d'une démarche de problématisation permet aux apprenants de construire activement le savoir scientifique en dépassant le simple savoir proportionnel basé sur la restitution du savoir.*

*L'étude de nature qualitative et descriptive repose sur l'analyse des productions individuelles et collectives des apprenants, ainsi que les modèles explicatifs élaborés durant les quatre séances. Les résultats montrent que la problématisation favorise la compréhension des mécanismes de la méiose et de la diversité en développant la capacité d'argumentation, de modélisation et de justification des apprenants.*

*La recherche met ainsi en évidence la pertinence didactique et la démarche de problématisation sur l'enseignement de la génétique, tout en soulignant la nécessité de renforcer la formation des enseignants, d'intégrer davantage d'outils visuels et numériques pour soutenir la construction du sens scientifique.*

**Mots clés :** *Problématisation-Génétique-brassage interchromosomique-savoir scientifique-Didactique*

## Abstract

*This article examines the production of problematized knowledge in genetics, through the study of interchromosomal recombination in the final year of high school (Terminale D). The objective is to analyze how implementing a problematization approach allows learners to actively construct scientific knowledge, moving beyond simple proportional knowledge based on the retrieval of facts.*

*This qualitative and descriptive study is based on the analysis of individual and group student work, as well as the explanatory models developed during the four sessions. The results show*

*that problematization fosters understanding of the mechanisms of meiosis and diversity by developing learners' capacity for argumentation, modeling, and justification.*

*The research thus highlights the didactic relevance of the problematization approach in the teaching of genetics, while also emphasizing the need to strengthen teacher training and integrate more visual and digital tools to support the construction of scientific meaning.*

**Keywords:** *Problematization-Genetics-Interchromosomal Recombination-Scientific Knowledge-Didactics*

## Introduction

Dans l'enseignement des sciences de la vie (SV) le processus d'apprentissage ne se limite pas à la transmission des connaissances figées, mais vise à amener les apprenants à construire activement le savoir à partir de situations significatives.

Cette distinction renvoie à deux formes de savoir : le savoir propositionnel et le savoir problématisé.

Le savoir propositionnel se présente comme un ensemble de vérités énoncées et validées par la science, que l'enseignant transmet et que l'apprenant doit mémoriser. Ce type de savoir, bien qu'indispensable à la structuration de la pensée scientifique, peut conduire à un apprentissage passif où l'apprenant se contente de reproduire des définitions sans en comprendre le fondement.

Le savoir problématisé, au contraire, met l'accent sur la construction de sens à travers la confrontation à un problème scientifique. Il suppose un questionnement initial, des hypothèses, des débats et la validation raisonnée d'explications. L'apprenant devient alors l'acteur de sa propre construction de savoir en s'engageant dans la démarche de recherche et d'argumentation. Comme le souligne Christian Orange (1997), problématiser consiste à « Transformer une question en problème », c'est-à-dire susciter un conflit cognitif qui pousse à élaborer une explication rationnelle.

En génétique, et particulièrement dans l'étude du brassage génétique, cette approche revêt une importance capitale et particulière. Le concept, bien que central pour comprendre la diversité des êtres vivants, demeure souvent abstrait et source de

confusion. Malgré l'importance centrale du brassage interchromosomique dans la compréhension de la diversité génétique, les apprenants rencontrent encore des obstacles à construire un raisonnement problématisé autour de ce mécanisme. Beaucoup d'apprenants assimilent encore le phénomène à une grosse combinaison ou à une anomalie chromosomique, alors qu'il repose sur la répartition aléatoire des chromosomes homologues lors de la méiose. Comment amener alors les apprenants à dépasser une approche descriptive du brassage chromosomique pour entrer dans une logique explicative et argumentaire. Ainsi, la présente étude s'inscrit dans une perspective de production du savoir problématisé autour du brassage interchromosomique en Terminale D au Bénin. Dans quelle mesure la construction d'un texte problématisé permet-elle de renforcer la compréhension conceptuelle du brassage interchromosomique et de développer des compétences d'argumentation scientifique ? Elle vise à montrer comment, à travers une situation forcée et un enseignement fondé sur la confrontation de modèles explicatifs, les apprenants peuvent progressivement construire le savoir scientifique relatif à la méiose et à la diversité génétique des gamètes.

Il convient de préciser que la présente étude prend en compte uniquement le brassage interchromosomique développé dans notre travail de thèse.

## **1- Cadre théorique**

La problématisation constitue le cœur de la didactique des sciences modernes. Elle s'inscrit dans une perspective socio-constructiviste et vise à amener l'apprenant à passer d'un savoir transmis à un savoir construit par l'activité intellectuelle avec ses pairs.

Selon Christian Orange (1997), la problématisation correspond au processus par lequel une question initiale, souvent naïve ou empirique, devient un véritable problème scientifique nécessitant une démarche explicative. Ce processus s'opère lorsqu'il existe un

écart entre ce que l'élève sait déjà et ce qu'il cherche à comprendre. La tâche de l'enseignant est alors d'organiser des situations où cet écart appelé tension cognitive pousse l'élève à interroger ses représentations et à produire de nouvelles explications et cette tâche doit se situer dans la Zone Proximale de Développement(ZPD) de l'élève selon Vygotsky .

Michel Fabre (1999) conçoit la problématisation comme un cadre de pensée qui articule trois pôles :

1. Le problème (ce qu'on cherche à expliquer),
2. Le système explicatif (les connaissances mobilisées pour y répondre),
3. La validation (la confrontation aux faits et aux arguments rationnels).

Ce triangle épistémologique favorise la construction de sens, car il engage l'apprenant dans une activité réflexive : il ne reçoit plus le savoir comme une vérité finie, mais comme une réponse construite à une question initiale.

Dans la perspective de Jean-Pierre Astolfi (2008), la problématisation se distingue du simple questionnement. Elle introduit une rupture avec le quotidien, en plaçant l'apprenant face à une situation où ses conceptions spontanées sont mises en échec. Ce déséquilibre cognitif, s'il est bien guidé, devient un levier d'apprentissage puissant : il pousse l'apprenant à réorganiser son savoir pour rétablir la cohérence de sa pensée. Dans le cas du brassage interchromosomique, la transformation du savoir en question et l'organisation des arguments pertinents pour répondre à la question de recherche est une démarche particulièrement pertinente car les élèves ont tendance à mémoriser les séquences factuelles de la méiose sans en comprendre la portée explicative (Astolfi, 1997).

Enfin, Giordan et De Vecchi (1987) soulignent que tout apprentissage scientifique repose sur une reconstruction du savoir à partir des représentations initiales des apprenants. La problématisation permet précisément de faire évoluer ces

représentations en les confrontant à de nouvelles contraintes logiques et empiriques.

En didactique de SVT, cette démarche permet de dépasser la simple restitution des notions pour amener l'apprenant à raisonner scientifiquement. Dans le cas du brassage interchromosomique, elle aide à établir le sens entre les mécanismes cellulaires de la méiose et la variabilité génétique, rendant la connaissance plus signifiante et plus durable.

Ainsi, le cadre théorique de la problématisation a orienté la conception du dispositif expérimental mis en œuvre dans cette étude en définissant les conditions didactiques favorables à l'émergence d'un véritable travail de construction du savoir scientifique problématisé.

## 2- Méthodologie de recherche

L'étude s'inscrit dans une approche qualitative et descriptive, fondée sur l'observation et l'analyse des interactions didactiques dans une classe de Terminale D d'un collège d'enseignement secondaire public du Bénin (CEG Danto).

**Population et contexte :** L'échantillon se compose d'un enseignant de SVT expérimenté (Octave), de deux doctorants en Didactique (Paul :D1 et Luc :D2) et de 36 apprenants d'âge compris entre 17 et 19 ans de Terminale D tous venant de la 1<sup>ère</sup> D. Le tableau 1 ci-après indique la liste exhaustive de ces apprenants composée de neuf filles et vingt-sept garçons.

Filles	Garçons
Carine, Edith, Joliane, Valentine, Raïmath, 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 Ezékriel
--	--

**Tableau 1 : Liste nominative des apprenants de l'échantillonnage**

Le choix du thème du brassage interchromosomique se justifie par sa complexité conceptuelle et son importance dans le programme officiel de génétique au Bénin.

**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.

A cet effet les étapes suivantes ont structuré notre démarche pour le relevé de corpus des données (Tableau 2).

	Tâches menées	Données recueillies
<b>1. Recueil des explications individuelles et des groupes homogènes</b>  <b>Première séance de la séquence forcée</b>	Situation forcée : Sachant que le brassage interchromosomique correspond à une répartition aléatoire des chromosomes homologues à l'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 $2n = 4$ et deux couples d'allèles A/a et B/b	♦ Récupération des 36 productions individuelles écrites de la séance 1 sous forme de schémas et de texte portant des explications initiales individuelles de chaque apprenant. ♦ Recueil de 7 affiches des groupes homogènes ♦ Transcription des enregistrements et de l'entretien d'auto confrontation

	<p>avec chaque parent hétérozygote pour les deux gènes).</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Productions individuelles</li> <li>❖ Productions de groupes homogènes (affiches)</li> <li>❖ Entretien d'auto confrontation</li> <li>❖ Réunion de l'équipe : proposition d'ordre de passage des affiches et de suggestions de questions sur chaque affiche</li> </ul>	<p>Transcription du débat de l'équipe ayant conduit à la chronologie de passage des affiches</p>
<p><b>2. Débat de classe</b></p> <p><b>Deuxième Séance</b></p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Débat sur les sept affiches récapitulant les explications de chaque groupe (groupe 4,2, 7, 5, 3,6 et 1)</li> <li>❖ Entretien d'auto confrontation</li> <li>❖ Réunion de l'équipe : bilan des débats, proposition de modèles</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>❖ Enregistrement vidéo des présentations des 7 groupes.( 4,2, 7, 5, 3,6 et 1)</li> <li>❖ Transcription des enregistrements et de l'entretien d'auto confrontation</li> </ul>



	explicatifs et conception de tableaux à remplir	
<b>3.</b> <b>plan de</b> <b>débat</b> <b>Troisième</b> <b>Séance</b>	❖ Discussion et récapitulation des explications produites lors des débats au niveau des 7 groupes. ❖ Proposition de modèles explicatifs. ❖ Discussion sur les trois modèles explicatifs pour produire des arguments « contre » et « pour » chaque modèle explicatif. (dans un tableau conçu) ❖ Sélection de 8 arguments écrits contre les trois modèles explicatifs ❖ Rangement en deux catégories de ces 8 arguments « contre » ❖ Proposition d'un titre à chaque catégorie en plénière	❖ écupération du tableau des arguments « pour » et « contre » ❖ écupération des productions du rangement en deux catégories avec leur titre ❖ ranscription du débat ayant conduit à identifier le titre de chaque catégorie ❖ ranscription de l'ébauche du texte de savoir

	❖ Ebauche de la solution provisoire lors du débat collectif. ❖ Entretien d'auto confrontation ❖ Réunion de D1 et D2 : choix de support documentaire	
<b>4. Résolution de problème.</b>  <b>Quatrième Séance</b>	❖ Confrontation des informations extraites des documents scientifiques avec les propositions issues des débats. ❖ Elaboration du texte scientifique = solution au problème	- Transcription de l'explication scientifique

**Tableau 2 : Séances du projet, contenus et productions recueillies**

Nous appelons groupe homogène, l'ensemble des apprenants ayant des productions similaires ou ayant les mêmes conceptions sur l'objet d'étude. Ceci a conduit l'équipe de recherche à constituer sept groupes homogènes G1 à G7 d'effectifs respectifs 3, 4, 4, 5, 10, 6 et 4.

L'ordre de passage est choisi de la conception moins élaborée à celle qui se rapproche du savoir scientifique. Ainsi l'ordre de passage est défini comme suit : G4 - G2 - G7 - G5 - G3 - G6 et

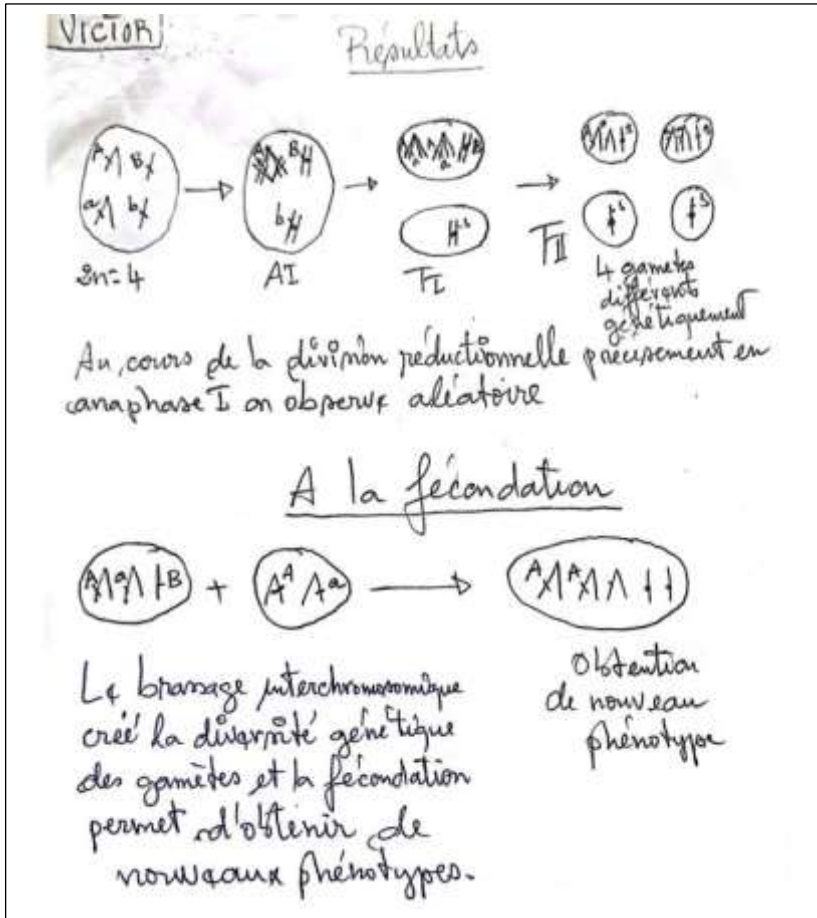
G1. Ce qui a permis de passer des anomalies de séparation des chromosomes (G3) à la séparation aléatoire des chromosomes en anaphase 1 (G1) en passant par l'enjambement des chromosomes homologues et échanges des chromatides (G2)

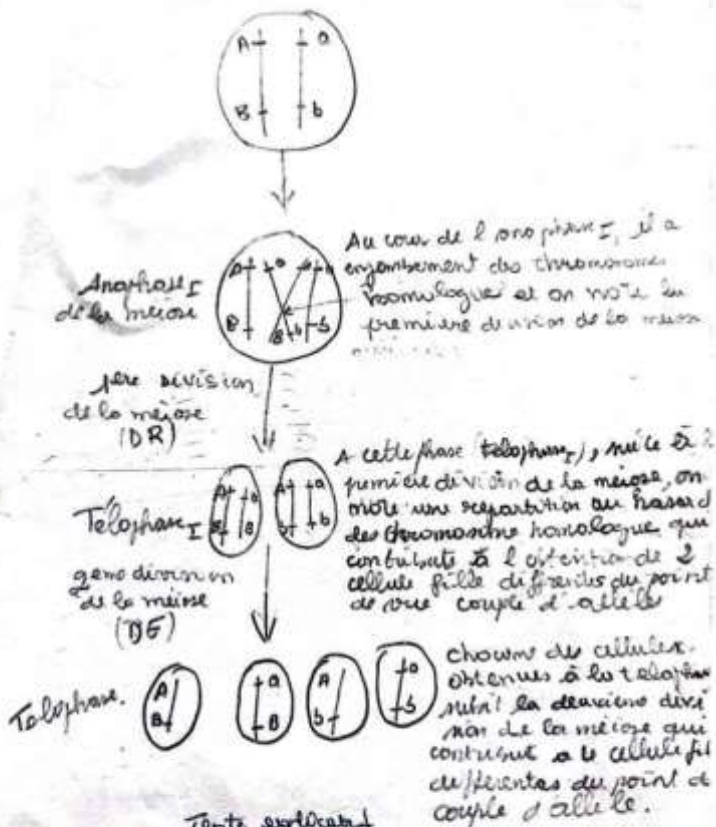
À la suite du cadre théorique et de la méthodologie exposée, il importe à présent d'examiner les résultats issus du dispositif expérimental mis en œuvre dans la classe de Terminale D. Cette analyse vise à mettre en évidence la manière dont les apprenants ont progressivement construit le savoir scientifique relatif au brassage interchromosomique à travers la démarche de problématisation.

### **3- Résultats recueillis**

La présentation des résultats s'articule autour de plusieurs composantes complémentaires :

- ❖ Les productions individuelles de trois apprenants (Ricardo, Roméo et Victor) illustrant la diversité des conceptions initiales ;

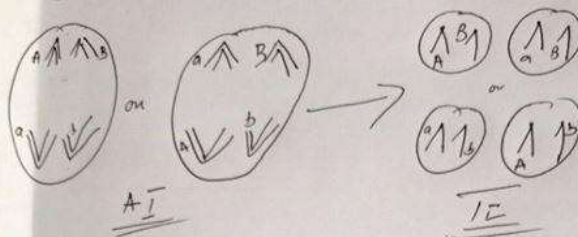




#### Texte explicatif

Le brassage interchromosomique a eu lieu à la Anaphase de la méiose. Au cours de cette phase on note l'engorgement des chromosomes homologues et suite à la 1<sup>ère</sup> division de la méiose (DR), on constate qu'il y a répartition au

MEHOOUNOU Ricardo



	$\frac{A}{a} \frac{B}{b}$	$\frac{A}{a} \frac{b}{b}$	$\frac{a}{a} \frac{B}{b}$	$\frac{a}{a} \frac{b}{b}$
$\frac{A}{a} \frac{B}{b}$				
$\frac{A}{a} \frac{b}{b}$				
$\frac{a}{a} \frac{B}{b}$				
$\frac{a}{a} \frac{b}{b}$				

Explication

Le brassage interchromosomique qui assure est un phénomène cellulaire qui assure la diversité phénotypique au sein de l'espèce grâce à la répartition aléatoire des chromosomes et la fécondation.



G3

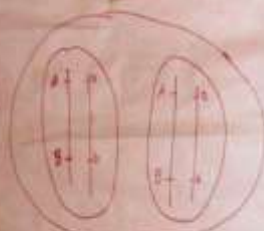
Le brassage interchromosomique correspond à la

répartition aléatoire des chromosomes homologues à

l'éclosion. Suite à une méiose, on observe des gamètes

contenant des chromosomes avec des segments de l'autre

chromosome (recombinaison)



phase I de

éclosion



phase II

éclosion des chromosomes  
homologues et séparation  
des chromatides

une division en  
deux (2n)



cellules

gamètes de 2 chromosomes  
différents en position pour  
chaque allèle



cellules

4 cellules filles de  
chaque parent, une copie  
d'allèles

1/4 de la population d'un seul type de gamète, une copie d'allèles

Le brassage interchromosomique correspond à la

répartition aléatoire des chromosomes homologues à

l'éclosion. Suite à une méiose, on observe des gamètes

contenant des chromosomes avec des segments de l'autre

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

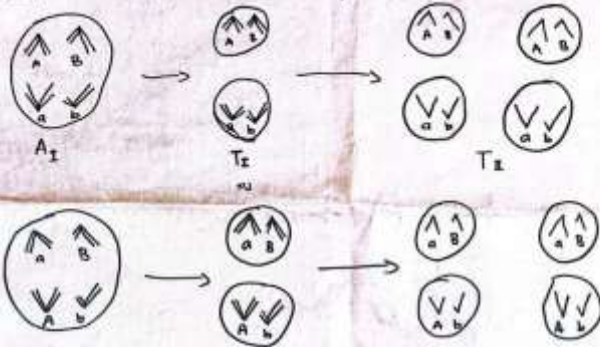
chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

chromosome (recombinaison)

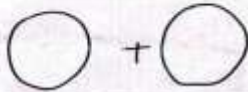


G<sub>1</sub>: Quelle est l'origine de la diversité phénotypique au sein de l'espèce?



On a 4 gamètes génétiquement différents : AB, Ab, aB et ab

### Fécondation



### Synthèse

En M1 à la DR, il y a disjonction aléatoire des chromosomes homologues. A l'anaphase I, la répartition aléatoire de ces chromosomes conduit à des gamètes aux combinaisons alléliques différentes AB, Ab, aB, et ab.

La fécondation qui est l'union au hasard des gamètes crée la diversité phénotypique au sein de la population.

♂	AB	Ab	aB	ab
♀	AB	Ab	aB	ab
AB	AB	Ab	aB	ab
Ab	AB	Ab	aB	ab
aB	AB	Ab	aB	ab
ab	AB	Ab	aB	ab

- ❖ Les trois modèles explicatifs élaborés à partir des échanges, dont l'analyse permettra d'identifier les critères de validité scientifique

**MODELE EXPLICATIF 5**  
SÉRIE 16 JONEMAS

cellule mère à 2n

Duplication

2n

On obtient 4 gamètes génétiquement différents AB, aB, Ab et Bb.

morphe 1

morphe 2

À la fécondation, on obtient l'embryon ci-après.

$\begin{matrix} P \\ p \end{matrix} \backslash \begin{matrix} Q \\ q \end{matrix}$	$\frac{A}{a} \frac{B}{b}$	$\frac{a}{A} \frac{B}{b}$	$\frac{A}{a} \frac{b}{B}$	$\frac{a}{A} \frac{b}{B}$
$\frac{A}{a} \frac{B}{b}$	AA BB	Aa Bb	Aa Bb	Aa Bb
$\frac{a}{A} \frac{B}{b}$	Aa Bb	aa Bb	Aa bb	aa bb
$\frac{A}{a} \frac{b}{B}$	Aa Bb	Aa bb	AA bb	Aa bb
$\frac{a}{A} \frac{b}{B}$	Aa Bb	aa Bb	Aa bb	aa bb

**Synthèse**

Le brassage interchromosomique se produit à la première division de la méiose, plus précisément en prophase I. A cette phase on assiste au échange de chromosomes, ce qui permet d'obtenir deux possibilités. Avec le premier possibilité on obtient les gamètes AB et ab et avec la deuxième possibilité on a des gamètes Aa et Bb. La rencontre et la fusion des différents gamètes créent la diversité phénotypique que l'on peut voir à l'espèce.



# MODELE EXPLICATIF ②

ESPECE DE SOUS-ESPÈCE



On obtient la gamète génétiquement différents  
 À la fécondation, on obtient de nouveau la cellule-mère.

♀ \ ♂	A	a	A	a	A	a
A	$\frac{AA}{AA}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{AA}{Aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{AA}{Aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$
a	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{aa}{aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{aa}{Aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{aa}{Aa}$
A	$\frac{AA}{AA}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{AA}{Aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{AA}{Aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$
a	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{aa}{aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{aa}{Aa}$	$\frac{Aa}{Aa}$	$\frac{aa}{Aa}$

Selon phénotype

[AA], [Aa], [aa]

et [aa]

Il y a diversité phénotypique

## Synthèse

En méiose I, on assiste à la répartition aléatoire des chromosomes homologues (Séparation au hasard). C'est ce qui fait que les allèles d'un même chromosome se séparent vers le pôle opposé de la cellule. Ceci a pour conséquence la formation de plusieurs gamètes génétiquement différents (AA, Aa, AB, etc.)  
 À la fécondation, on obtient une diversité de phénotypes.

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.

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.

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

- ❖ Tableau conçu par l'équipe pour recueillir les arguments de pour et contre le fonctionnement des modèles explicatifs

MODELE EXPLICATIF	<b>A</b>	<b>B</b>	<b>C</b>
	<p>Les chromosomes homologues ou non se séparent de façon aléatoire en anaphase I, au point où on retrouve dans certains gamètes génétiquement différents les deux allèles d'un même gène et la fécondation vient amplifier la diversité</p>	<p>Il y a enjambement des chromosomes homologues en Prophase I, ce qui crée la diversité génétique des gamètes lors de la séparation des chromosomes homologues en anaphase I et la fécondation vient amplifier cette diversité</p>	<p>Les chromosomes homologues se séparent de façon aléatoire en anaphase I en créant des gamètes génétiquement différents qui ne renferment jamais deux allèles d'un même gène. La fécondation vient amplifier cette diversité</p>

<b>Situation de la proposition initiale de votre groupe</b> (Voir affiche) Mettre une croix dans la case qui convient			
<b>Argumentation pour ou contre à l'issue du débat</b> Pour chaque modèle explicatif, dites pourquoi il peut fonctionner et pourquoi il ne peut pas fonctionner. Argumentez.			
<b>Validation à l'issue de l'étude des documents</b> Pour chaque modèle explicatif, dites pourquoi il peut fonctionner et			

pourquoi il ne peut pas fonctionner. Argumentez.			
---	--	--	--

❖ Nombre d'arguments « pour » et « contre » le fonctionnement des trois modèles d'explication proposés aux apprenants de la classe d Terminale D

Modèles et type d'arguments	Modèle A	Modèle B	Modèle C	Total
Arguments « pour » le fonctionnement	7	3	25	35
Arguments « contre » le fonctionnement	28	32	10	70
Absence de réponse	1	1	1	3
Total	36	36	36	108



- ❖ Les huit raisons du non-fonctionnement des modèles explicatifs A et B, révélant les obstacles cognitifs et logiques rencontrés par les apprenants

QUELQUES ARGUMENTS CONTRE LES MODELES EXPLICATIFS

1- Ça ne fonctionne pas car on ne peut pas retrouver les allèles d'un même gène dans un gamète (Aa et Bb).

2- Ça ne fonctionne pas car les couples d'allèles ne sont pas respectés depuis la cellule mère ( $2n=4$  et non  $2n=2$ ).

3- Ça ne fonctionne pas car les gènes étant indépendants un allèle d'un gène, reçoit au hasard un autre allèle du second gène.

4- Ça ne fonctionne pas car le brassage interchromosomique, n'est pas un enjambement des chromosomes en anaphase I, mais plutôt une répartition aléatoire des chromosomes homologues en anaphase I.

5- Ça ne fonctionne pas car c'est bien vrai il y a disposition et séparation aléatoire en anaphase I, mais deux allèles d'un même gène ne peuvent jamais se retrouver ensemble.

6- Ça ne fonctionne pas car étant donné qu'après séparation des chromosomes homologues, les allèles d'un même gène vont migrer vers les pôles opposés. On ne donc jamais obtenir dans un gamète les allèles d'un même gène.

7- Ça ne fonctionne pas parce que la ségrégation indépendante des chromosomes de la même paire et les allèles portés par les chromosomes ne sont pas perceptibles.

8- Ça ne fonctionne pas car après la fécondation, on devrait obtenir une diversité au sein de l'espèce

- ❖ Les extraits significatifs de propos d'apprenants, témoignant de la dynamique des interactions et de l'argumentation au sein du groupe

118	P2 :Expliquez-nous alors pourquoi on ne peut pas obtenir les gamètes Aa et Bb que vous avez suggérés dans votre synthèse?
119	Cosme : D'après notre schéma de la métaphase I les chromosomes homologues ne peuvent pas migrer vers un même pôle sauf défaut de migration.
120	P2 : Les autres membres du groupe vous êtes d'accord ?
121	Groupe-classe : Oui
122	P <sub>2</sub> : Hein alors quelles sont les combinaisons qu'on obtient réellement, je reviens encore à ma préoccupation.
123	Cosme : On a eh eh les combinaisons suivantes AB, ab, Ab et aB
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
126	P <sub>2</sub> : La classe l'a comprise
127	Groupe- classe : Oui
128	P <sub>2</sub> : On ne peut donc pas prendre un gamète et avoir un même couple d'allèles dans le gamète hein. C'est-à-dire comme A/a sont les allèles d'un même gène, on ne peut pas les retrouver en méiose normale dans les cellules-filles puisque tout à l'heure il a dit sauf défaut de migration. C'est ce qu'il a dit et il est ferme sur ça hein. Il dit qu'on ne pas avoir ça. Donc il estime que c'était une erreur de leur part d'avoir mis ça là alors Est-ce que c'est la même raison qu'on ne puisse pas avoir Bb ?
306	Kamal: Grâce à la 1 <sup>ère</sup> division de la méiose en anaphase I, on assiste au brassage interchromosomique qui après clivage du centromère et ascension des chromosomes nous amène à l'obtention de deux possibilités. Soit on

	obtient en 1 <sup>ère</sup> possibilité ab et AB, puis en 2 <sup>ème</sup> possibilité on obtient Aa et bB. On peut donc dire que, le brassage interchromosomique permet la diversité au sein de l'espèce parce que les couples d'allèles trouvés sont différents.
307	P <sub>2</sub> : Vous avez parlé de 2 possibilités, possibilité de quoi, de combinaisons, de répartition ?
308	Groupe-classe : De répartition.
309	P <sub>2</sub> : C'est ça donc 2 possibilités de répartition c'est ça que vous voulez dire.
310	Groupe : Oui
311	P <sub>2</sub> : C'est donc ça qui a conduit aux gamètes AB, ab, Aa et Bb

348	Benjamin : Ils ont dit qu'ils sont en situation normale. Je reviens encore à ma deuxième préoccupation. Si la méiose est normale comment ils ont pu obtenir les combinaisons : Aa et bB s'il n'y a pas eu migration d'un couple d'allèles car selon moi il n'y a pas eu séparation de chromosomes homologues.
349	Georges : Il ne faut pas oublier qu'on a parlé de répartition aléatoire. C'est ce qui justifie ces combinaisons.
350	P <sub>2</sub> : Je crois que dans le débat tout à l'heure elle avait avancé le même raisonnement, c'est donc leur compréhension.
351	Benjamin : Pour moi ces deux (02) combinaisons Aa et Bb montrent qu'il y a eu migration sans séparation des deux couples d'allèles.

378	Victor : Par X XX par exemple le A va en haut et le a va en bas.
-----	--

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
-----	---

<b>655</b>	P <sub>2</sub> : Séparation aléatoire comment ?
<b>656</b>	Roméo : A la fin on a 4 cellules génétiquement différentes
<b>657</b>	P <sub>2</sub> : Génétiquement différentes, comme cela se constate ?
<b>658</b>	Roméo : en télophase II, on a 4 cellules filles différentes du point de vue combinaison allélique.
<b>659</b>	P <sub>2</sub> : Quelles sont ces combinaisons ?
<b>660</b>	Roméo : On a (A, B), (aB), (Ab) et (ab) donc on a 4 gamètes génétiquement différents

<b>887</b>	P <sub>2</sub> : En quoi consiste le brassage interchromosomique ? expliquez-nous cela.
<b>888</b>	Ricardo : Lorsque nous prenons, lorsque nous prenons l'échiquier c'est-à-dire le tableau de fécondation. On constate que le gamète mâle A,B fusionne avec le gamète a,b pour donner le phénotype[A B] car A domine a et B domine b et puis quand nous prenons maintenant le gamète a,b comme gamète mâle avec le gamète femelle a,b par exemple on a le phénotype [a,b] à la fécondation. Donc le phénotype [AB] diffère du phénotype [ab] et ainsi de suite c'est ce qui justifie la diversité phénotypique au sein de l'espèce imposée par les gamètes génétiquement différents.
<b>889</b>	P <sub>2</sub> : Ça fait donc deux phénotypes différents
<b>890</b>	Ricardo : Oui, c'est ce qui explique la diversité phénotypique
<b>891</b>	P <sub>2</sub> : Donc les 4 types de gamètes que le père peut donner peuvent rencontrer les quatre types de gamètes que la mère peut donner. Ça engendre différentes possibilités de combinaisons alléliques à l'origine donc de la diversité de phénotypes selon leur présentation. On va lire leur synthèse qui est là pour voir s'ils sont en accord avec ce qu'ils ont fait.
<b>892</b>	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.

Extraits de documents scientifiques

#### LE BRASSAGE GÉNÉTIQUE LORS DE LA REPRODUCTION SEXUÉE

La méiose et la fécondation sont les deux étapes fondamentales de la reproduction sexuée. Elles assurent le maintien du nombre de chromosomes au cours des générations successives. Les individus d'une espèce donnée possèdent donc le même caryotype. Ils présentent cependant un phénotype différent. A chaque génération, les allèles sont brassés, de sorte que chaque individu en possède une combinaison unique. La méiose et la fécondation constituent des rouages essentiels de ce brassage génétique.

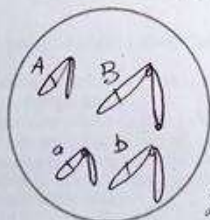
#### MEIOSE ET BRASSAGE INTERCHROMOSOMIQUE

Il est dû à la **disjonction aléatoire et indépendante des chromosomes homologues à l'anaphase I de la méiose**. Le brassage interchromosomique permet de produire  $2^n = 4$  catégories de gamètes différents pour 2 paires de chromosomes homologues comportant les couples d'allèles A/a et B/b et pour deux méioses différentes et donc 2<sup>n</sup> catégories de gamètes (le parent étant hétérozygote  $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$ ) pour n paires de chromosomes homologues soit 2<sup>n</sup> chromosomes et pour toutes les méioses possibles. Donc pour l'Homme 2<sup>n</sup> possibilités soit 8 388 608 par sexe. Une seule méiose ne produira que deux types de gamètes différents. Chez les diploïdes ce brassage est mis en évidence lors des croisements de deux individus différents par deux gènes portés par deux chromosomes différents (on parle de **gènes indépendants**).

Un organisme hétérozygote pour deux gènes produit 4 types de gamètes de manière équiprobable (avec la même fréquence). Les gamètes de type parental et ceux de type recombiné sont donc produits en proportion identique. **LE BRASSAGE INTERCHROMOSOMIQUE CRÉE DE NOUVELLES COMBINAISONS DE CHROMOSOMES.**

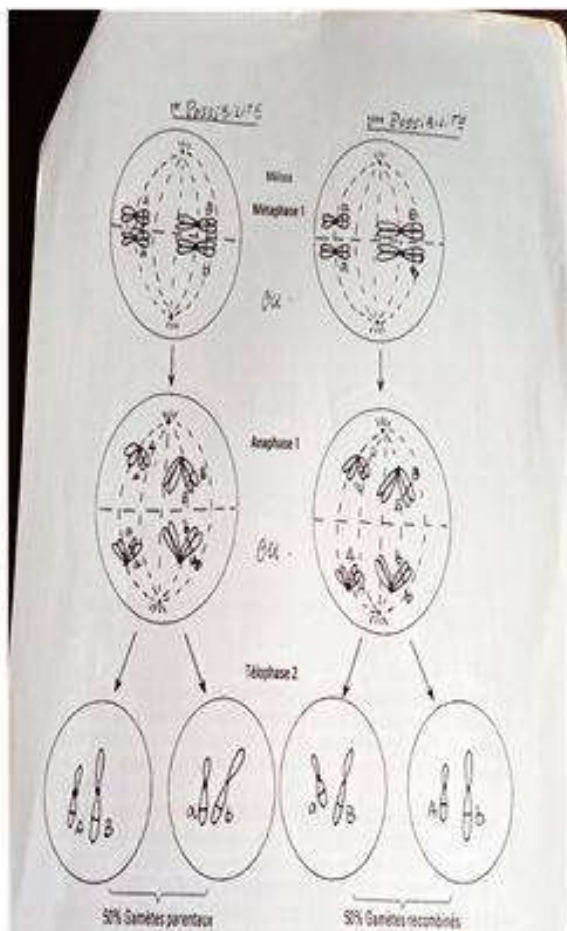
**ILLUSTRATION :** Pour un parent hétérozygote on a :

Parent :  $\frac{A}{a} \frac{B}{b}$



$2n = 4$  chromosomes.

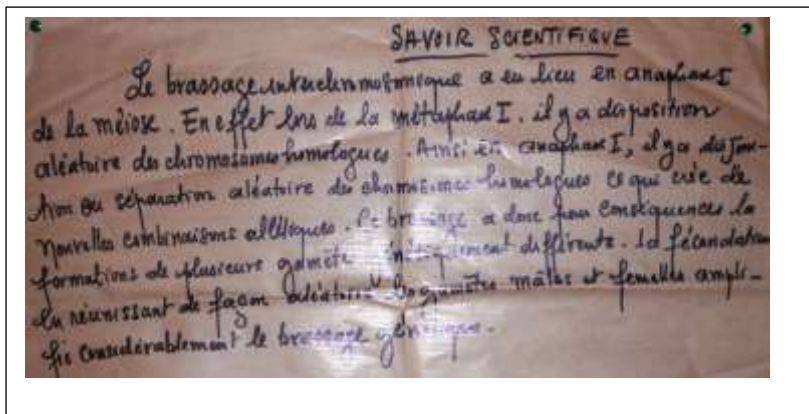
Cellule-mère



### LA FECONDATION AMPLIFIE LE BRASSAGE CHROMOSOMIQUE

La fécondation en réunissant aléatoirement un gamète mâle et un gamète femelle amplifie considérablement le brassage génétique. Chacun des gamètes possède une combinaison d'allèles parmi l'extrême diversité (AB, Ab, aB et ab) des combinaisons possibles. La fécondation de ces deux gamètes conduit à doter toute cellule œuf d'une combinaison originale des allèles des gènes de l'espèce. Avec les deux couples d'allèles considérés A/a et B/b et en considérant les deux parents mâle et femelle hétérozygotes, on obtient le tableau de fécondation ci-après :

- ❖ Le libellé du savoir problématisé construit collectivement, qui constitue l'aboutissement du processus de réflexion et de validation scientifique. Cette présentation vise donc à rendre compte de la progression conceptuelle et argumentative des élèves



### Savoir scientifique transcrit

Le brassage interchromosomique a eu lieu en anaphase I de la méiose. En effet lors de la métaphase I, il y a disposition aléatoire des chromosomes homologues. Ainsi en anaphase I, il y a disjonction ou séparation aléatoire des chromosomes homologues ce qui crée de nouvelles combinaisons alléliques. Ce brassage a donc pour conséquences la formation de plusieurs gamètes génétiquement différents. La fécondation en réunissant de façon aléatoire les gamètes mâles et femelles amplifie considérablement le brassage génétique.

#### **4- Analyse didactique des données recueillies et discussions**

L'analyse des données issues des productions écrites, des discussions collectives et des entretiens avec les apprenants met en lumière un processus progressif de construction des savoirs problématisés. La mise en œuvre de la situation forcée a permis d'observer plusieurs étapes de la transformation des représentations initiales et d'obtenir une compréhension du brassage interchromosomique. Les productions individuelles révèlent une diversité de conceptions. Certains apprenants associent encore la diversité génétique à un mélange des caractères parentaux, d'autres à des anomalies de méiose et à la confusion entre brassage interchromosomique et crossing-over. Ces conceptions témoignent d'une compréhension superficielle du phénomène et d'un raisonnement encore descriptif. Ainsi les productions écrites individuelles montrent que le passage d'une description mécanique des étapes de la méiose à l'explication du brassage interchromosomique reste fragile. Cela confirme les observations de Lhoste (2013), selon lesquelles les élèves peinent à articuler les niveaux de pensées cellulaire et chromosomique. En revanche, lorsqu'un texte problématisé est construit, une amélioration est visible dans l'enchaînement logique des arguments, rejoignant les résultats de Dolz et Schneuwly (2002) sur l'importance de la structuration textuelle dans la construction de savoirs scientifiques.

Les productions de groupes ont montré une nette évolution des échanges et des débats, ont favorisé la régulation des idées initiales. Les débats sur sept affiches ont permis d'élaborer les trois modèles explicatifs résultant des arguments avancés par les apprenants.

- Le modèle A fondé sur une anomalie de séparation des chromosomes en anaphase I, traduit une interprétation erronée du processus de méiose.
- Le modèle B, assimilant le brassage interchromosomique à un enjambement de chromatides en prophase I, montre la



persistance d'une confusion entre les deux types de brassage chromosomiques.

- Le modèle C, basé sur la répartition aléatoire des chromosomes homologues en anaphase I correspondent à la conception scientifique attendue.

L'analyse des huit raisons du non-fonctionnement des modèles A et B, met en évidence, les obstacles cognitifs rencontrés : confusion entre brassage interchromosomique et intrachromosomique, interprétation linéaire de la méiose, difficultés à concevoir le hasard comme facteur explicatif, ou encore recours excessif à des analogies non scientifiques. Ces obstacles, loin d'être des erreurs, constituent de véritables indicateurs d'apprentissage : ils témoignent du passage d'une logique empirique à une logique explicative.

Les extraits significatifs des propos d'apprenants révèlent la dynamique de débats constructifs. Certains apprenants comme Ricardo et Benjamin ont joué un rôle moteur dans la clarification des représentations en reformulant ou en questionnant les arguments des leurs pairs. Ce fonctionnement interactif a permis une co-construction du savoir où l'erreur devient un levier de compréhension.

Dans le groupe 2, défenseur de l'anomalie de séparation des chromosomes comme source de diversité génétique, Victor un membre actif de ce groupe, lors des débats de classe, dans l'intervention 278, a fustigé qu'on ne saurait jamais retrouver les deux allèles d'un gène dans un gamète, ce qui semble être une controverse au sein du même groupe. Seuls Kamal et Georges ont maintenu leur position malgré toutes les objections comme celle de Benjamin, membre du groupe 5 qui a évoqué dans son intervention 348 que la présence des allèles Aa ou Bb dans un gamète montre qu'il n'y a pas eu séparation des chromosomes homologues. C'est la preuve que certaines conceptions des apprenants ont besoin d'être reconstruites.

Roméo, quant à lui n'est pas revenu sur sa position en ce qui concerne la garniture chromosomique  $2n=2$  au lieu de  $2n=4$  pour

conduire le travail, ce qui a fait que son groupe est campé sur le brassage intrachromosomique comme source de diversité.

Les moments intenses de problématisation, l'ensemble des questions et d'objections avancés par les apprenants de la classe et par le professeur Octave ont conduit à des impossibilités des modèles A et B. Ainsi sur 108 arguments avancés, 50 arguments sont produits contre les modèles A et B et 10 seulement contre le modèle C. Sur les 36 élèves, le débat de classe a conduit à un ralliement de 25 apprenants pour le modèle C et 10 pour les modèles A et B et une absence de réponse.

Le libellé final du savoir problématisé formulé collectivement montre que la classe a su dégager une explication cohérente : « Au cours de la méiose, la répartition aléatoire des chromosomes homologues en anaphase I entraîne la formation des gamètes porteurs de combinaisons alléliques différentes AB, Ab, aB et ab ».

Cette formulation marque le passage d'un seul énoncé de fait à une explication causale et mécaniste de la méiose. Sur le plan didactique, cette approche met en évidence le rôle central du débat scientifique et de la médiation de l'enseignant.

L'enseignant, avec son rôle de guidance, a conduit la démarche sans imposer le savoir, créant ainsi un cadre de recherche collectif où les apprenants ont pu argumenter, confronter et valider leur hypothèse.

La discussion des résultats confirme que la problématisation favorise non seulement la compréhension conceptuelle, mais aussi le développement des compétences transversales telles que l'argumentation, la coopération et la pensée critique. Les obstacles identifiés ne traduisent pas une faiblesse, mais une phase nécessaire du raisonnement scientifique conformément aux analyses d'Astolfi (2008) et de Fabre (1999).

En définitive, cette étude illustre comment la problématisation transforme la salle de classe en un espace de construction du savoir. Elle offre aux apprenants la possibilité d'adopter une posture réflexive, de comprendre la logique des phénomènes biologiques

et d'intégrer durablement les notions de génétique dans une perspective explicative et non seulement descriptive.

## **5- Conclusion et Perspectives**

La présente étude sur la production de savoirs problématisés en génétique à travers le brassage interchromosomique a montré que la problématisation constitue un levier incontournable pour transformer l'enseignement des sciences de la vie (SV). En plaçant les apprenants de Terminale D du Bénin dans une situation de questionnement et de confrontation d'idées, elle a favorisé le passage d'un savoir propositionnel en savoir construit, expliqué (Savoir raisonné).

Les résultats ont révélé que les apprenants initialement porteurs de conceptions confuses ont progressivement accédé au modèle explicatif, cohérent, validé à travers le débat scientifique. Cette démarche a permis une meilleure compréhension du brassage interchromosomique et de son rôle dans la diversité génétique. Sur le plan didactique, l'étude confirme que la problématisation favorise la construction du sens, la modélisation et la coopération entre pairs. L'enseignant apparaît comme un médiateur du savoir, jouant le rôle de guidance dans l'élaboration des raisonnements scientifiques.

Au-delà de l'intérêt strictement conceptuel, cette étude met en lumière l'importance des pratiques d'écriture problématisée pour développer chez les apprenants une véritable pensée scientifique. En améliorant leur capacité à expliquer le brassage interchromosomique comme un mécanisme fondamental pour comprendre la diversité génétique, elle contribue à former des citoyens capables d'appréhender les enjeux contemporains liés à la génétique qu'il s'agisse de médecine personnalisée, de biodiversité ou de reproduction. Ainsi, la maîtrise de textes problématisés apparaît comme un outil didactique puissant à la fois pour structurer les savoirs et pour renforcer la culture scientifique nécessaire dans la société actuelle.

Cependant, quelques obstacles persistent, notamment la confusion entre les deux types de brassage et la difficulté à mobiliser un vocabulaire génétique précis. Ces limites invitent à renforcer la formation des enseignants et à intégrer davantage d'outils visuels pour soutenir la conceptualisation. En termes de perspectives, nous préconisons que :

- les enseignants soient formés à la démarche de problématisation et à la conduite du débat scientifique ;
- les outils numériques soient intégrés pour illustrer les mécanismes de méiose et du brassage ;
- l'approche soit étendue à d'autres notions de la génétique, comme le crossing-over, les mutations ;
- la modélisation des phénomènes biologiques soit intégrée dans l'enseignement des Sciences de la Vie ;
- la recherche -action soit encouragée et la mutualisation des pratiques innovantes en sciences de la vie (SV).

## Références bibliographiques

**Astolfi, J.-P.** (2008). La saveur des savoirs : Disciplines et plaisir d'apprendre. Paris : ESF.

**Astolfi, J.-P.** (1997). Notion d'obstacle, conflits socio-cognitifs. Paris : ESF

**Bachelard G.** (1938) Importance de la rupture épistémologique. Paris : Vrin

**Chalak, H.** (2012) : Conditions didactiques et difficultés de construction de savoirs problématisés en Sciences de la Vie et de la Terre., thèse de doctorat de l'Université de SAINT Joseph de Bérouth.

**Charnay R.** (1997) : Apprendre par la résolution de problèmes. In Grand N, 42. Grenoble CRDP

**Dolz J. et Schneuwly B.** (1994) Productions de texte et compétence argumentative. Paris : Delachaux et Niestlé.

**Fabre, M.** (1999). Penser la problématisation. De la didactique à la philosophie. Paris : PUF.

Giordan, A. & De Vecchi, G. (1987). Les origines du savoir. Paris : Delachaux et Niestlé.

**Jaubert, M., Rebière, M.** (2002). « Parler et débattre pour apprendre : comment caractériser un 'oral réflexif' ? », In Chabanne J6C., Bucheton D. Parler et écrire pour penser, apprendre et se construire : L'écrit et l'oral réflexif, pp. 163-186, Paris : PUF

**Johsua, S., Dupin, J-J.** (1989). *Représentations et modélisations : le "débat scientifique" dans la classe et l'apprentissage de la physique*, Berne : Peter Lang.

**Jonnaert, Ph.** (2009) : *Compétences et socioconstructivisme. Un cas théorique*. Bruxelles : De Boeck-Université (2è Ed, première édition ; traduit en Arabe aux éditions Almadariss.

**Lhoste Y.** (2005 - 2007). Problématisation et apprentissage en SVT. Publication interne IUFM

**Martinand, J-L et al** (1992) : Enseignement et apprentissage de la modélisation en sciences. Paris : INRP

**Orange, C.** (1997). La problématisation dans l'enseignement des sciences. Paris : INRP.

**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 [www.educmater.com](http://www.educmater.com)

**Tavernier, R. et Lizeaux, C.** (2002) : *Science de la Vie et de la Terre Terminale S*. Ed. Bordas. p:134-135.

**Vygotsky, L.S.** (1937/1998). Pensée et langage, Paris : Ed. La dispute.