

IUFM de l'Académie de MONTPELLIER
Biochimie Génie Biologique
Lycée Docteur Lacroix NARBONNE
Terminale STL Biochimie

RAPPORT DE STAGE EN ENTREPRISE

MEMOIRE PROFESSIONNEL
Analyse des causes d'erreurs
dans les exercices de Biochimie

Barbara CHAUDET
Année 2001-2002

Tuteur : Murielle ORDAS
Assesseur : Marie-Laure REYNE

RESUME

Comprendre les erreurs commises en réponse à un exercice de Biochimie paraît capital pour le professeur, mais aussi et surtout pour les élèves. En effet, l'erreur peut être source de progrès dans la construction des savoirs pour les élèves. De plus, elle peut constituer une aide précieuse pour le professeur afin de mieux adapter ses explications et les séances de correction. C'est pourquoi, une analyse systématique de l'erreur et la mise en place de moyens pour mieux comprendre l'erreur semblent essentiels.

Mots-clés : erreur, exercices, Biochimie, correction, analyse.

Understanding errors realised in response to Biochemistry exercise appears important for the teacher, but also and specially for students. Error can be a real source of improvement in the knowledge construction for students. Moreover, error can represent a precious help for the teacher to better adapt his explanations and correction sessions. That's why a systematic error analysis and putting into practice means to better understand error seem to be essential.

RAPPORT DE STAGE EN ENTREPRISE

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION	6
1- VISITE D'UN LABORATOIRE D'ANALYSE MEDICALE.....	7
1-1. ORGANISATION DU LABORATOIRE.....	7
1-1.1. <i>Personnel</i>	7
1-1.2. <i>Structure</i>	7
1-2. ACTIVITES DU LABORATOIRE.....	8
1-2.1. <i>Analyses biochimiques et immunologiques</i>	8
1-2.2. <i>Analyses hématologiques</i>	8
1-2.3. <i>Immuno-électrophorèses</i>	9
1-2.4. <i>Analyses bactériologiques et parasitologiques</i>	9
1-3. ROLES DU TECHNICIEN.....	9
1-3.1. <i>Traitement des échantillons</i>	9
1-3.2. <i>Bonnes pratiques de laboratoire</i>	10
1-3.3. <i>Maintenance</i>	10
1-3.4. <i>Prélèvements sanguins</i>	10
2- VISITE DU LABORATOIRE DE BIOTECHNOLOGIES DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INRA....	11
2-1. ORGANISATION DU LABORATOIRE.....	11
2-1.1. <i>Structure</i>	11
2-1.2. <i>Personnel</i>	12
2-2. ACTIVITES DU LABORATOIRE.....	12
2-2.1. <i>Génie Microbiologique</i>	12
2-2.2. <i>Microbiologie moléculaire</i>	15
2-3. ROLES DU TECHNICIEN.....	16
3- UTILISATIONS PEDAGOGIQUES POSSIBLES	16
CONCLUSION	16
ANNEXES	17

MEMOIRE PROFESSIONNEL

TABLE DES MATIERES

INTRODUCTION :	20
1- CHOIX DE LA THEMATIQUE	21
1-1. PROBLEMES OBSERVES EN T.P. DE BIOCHIMIE.....	21
1-1.1. Erreurs commises lors d'une interrogation d'enzymologie (voir annexe 1).....	21
1-1.2. Erreurs commises lors d'un exercice (voir annexe 2).....	21
1-1.3. Erreurs commises lors de la rédaction d'un compte-rendu (voir annexe 3).....	21
1-2. STATUTS DE L'ERREUR EN MILIEU SCOLAIRE	22
1-3. TYPOLOGIE DES ERREURS.....	23
1-4. POUR UNE MEILLEURE COMPREHENSION DES CAUSES D'ERREURS	24
2- EXPERIMENTATIONS PROPOSEES	25
2-1. SEANCES DE CORRECTION INTERACTIVES.....	25
2-1.1. Objectifs :	25
2-1.2. Modalités de réalisation.....	26
2-2. ANALYSE DES CAUSES D'ERREURS	28
2-2.1. Objectifs.....	28
2-2.2. Modalités de réalisation.....	28
2-3. PROBLEMES RENCONTRES DANS LA REALISATION DES EXPERIMENTATIONS.....	28
3- ANALYSE DES RESULTATS	29
3-1. ANALYSE DES CAUSES D'ERREURS	29
3-1.1. Analyse des fiches de suivi des causes d'erreurs	29
3-1.1.1. Bilan sur les fiches de suivi (voir ci-contre).....	31
3-2. BILAN DES DIFFERENTS MODES DE CORRECTION (VOIR CI-CONTRE)	31
3-3. CRITIQUES ET PROPOSITIONS.....	32
CONCLUSION	33
BIBLIOGRAPHIE	34

ANNEXES

RAPPORT DE STAGE EN ENTREPRISE

INTRODUCTION

Après cinq années de cursus universitaire en Pharmacie, j'ai choisi de passer le concours de l'internat en Pharmacie, pour m'orienter vers une carrière d'enseignement et de recherche. J'ai d'abord travaillé pendant un an dans une pharmacie hospitalière. Les trois autres années de l'internat ont été consacrées à deux sujets de recherche.

Si l'activité en laboratoire de recherche m'est familière, je ne connais en revanche pas le quotidien d'un laboratoire d'analyse médicale traitant toutes les analyses de routine. Or de nombreux élèves issus de section STL et titulaire d'un BTS Analyses biologiques ou BTS de Biochimie sont embauchés dans ce domaine. Il m'a donc semblé important de faire la visite d'un laboratoire d'analyse médicale afin de mieux connaître ce domaine professionnel et de pouvoir adapter mon enseignement aux réalités du monde du travail et illustrer les cours théoriques.

Le domaine de l'environnement dans lequel les élèves issus de section STL peuvent également trouver des débouchés m'est inconnu. C'est pourquoi, j'ai tenu à visiter le laboratoire de Biotechnologies de l'environnement de l'INRA. Ce laboratoire a pour objectif de valoriser et de traiter par voie microbiologique la pollution d'origine agricole, industrielle et urbaine présente sous forme d'effluents et de déchets solides.

1- VISITE D'UN LABORATOIRE D'ANALYSE MEDICALE

1-1. Organisation du laboratoire

1-1.1. Personnel

Titre	Diplôme
- 4 biologistes (1 médecin et 3 pharmaciens)	- Diplôme d'Etat de Docteur en médecine ou Pharmacie - DES de Biologie
- 12 techniciennes en Biochimie, Hématologie - 3 techniciennes en bactériologie	- sans diplôme, bac - BTS, IUT ou Maîtrise de sciences biologiques pour les plus récemment embauchés
- 2 coursiers	—
- 2 secrétaires	Cursus divers
- 1 ingénieur qualité	

1-1.2. Structure

Ce laboratoire se rapproche d'une structure hospitalière et dispose d'un matériel sophistiqué. Environ 700 dossiers y sont traités par jour.

* Une pièce est consacrée aux analyses biochimiques et hématologiques avec des postes bien définis pour chaque activité et comprend :

- 2 automates de Biochimie
- 1 automate pour les gaz du sang
- 2 automates pour les bilans de coagulation
- 1 automate pour doser les D-dimères
- 1 automate de numération des cellules sanguines (Coulter)
- 1 automate de groupage sanguin
- des centrifugeuses et un frigo

* Une pièce est consacrée à la bactériologie et à la parasitologie avec des postes bien définis (analyse d'urines, de selles et autres prélèvements, coloration de Gram, microscope, incubateurs dont un réservé aux hémocultures, frigo, stockage des produits)

- * Une pièce est réservée aux immunoélectrophorèse
- * Une pièce de stockage des produits

1-2. Activités du laboratoire

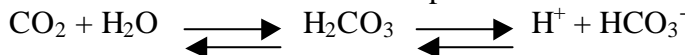
1-2.1. Analyses biochimiques et immunologiques

Toutes les analyses biochimiques et immunologiques se font par des automates. Les prélèvements sont de diverses origines :sang, urines, LCR...

* Dosage des électrolytes :

- dosage des ions Na⁺, K⁺, Cl⁻... par potentiométrie avec des électrodes sélectives pour chaque ion. Le potentiel électrique est proportionnel à l'activité de l'ion à doser.

- dosage de la teneur en CO₂ revient à doser des ions H⁺ et donc à mesurer le pH : le CO₂ diffuse à travers une membrane semi-perméable et se combine à l'eau :



* Dosage de substrats :

- dosage de l'albumine par colorimétrie : fixation d'un colorant, le rouge de bromocrésol (très grande spécificité), à pH 4,5 et mesure d'absorbance.

- dosage des protéines totales par une méthode dérivée de celle de Biuret.

- complexométrie/colorimétrie: dosage du calcium, du fer.

- méthodes enzymatiques en point final ou en cinétique : dosage de nombreux substrats (ammonium, urée, cholestérol, glucose, acide lactique, triglycérides...).

Remarque : le dosage du cholestérol HDL par méthode enzymatique en point final nécessite une étape préalable : séparation des HDL des autres lipoprotéines par utilisation d'un polyanion qui complexe les LDL, VLDL et chylomicrons et d'un détergent qui ne dissout que les HDL.

* Dosage d'enzymes : par méthode cinétique (phosphatase alcaline, phosphatase acide, ALAT, ASAT, créatine kinase...)

* Dosage de protéines spécifiques : par turbidimétrie (dosage de la protéine C réactive et des protéines du complément)

* Immunoanalyses : - dosage de la troponine I cardiaque, de la ferritine par méthode sandwich

- dosage de l'HCG en présence des particules recouvertes d'anticorps monoclonaux spécifiques de la sous-unité α de l'HCG et d'un conjugué (anticorps monoclonal spécifique de la sous-unité β de l'HCG marqué par une enzyme).

1-2.2. Analyses hématologiques

Toutes les analyses sont effectuées par des automates.

* Détermination du groupe sanguin : Deux épreuves de Beth-Vincent et deux épreuves de Simonin sont réalisées en 20 minutes. Quatre vingt groupes sont ainsi réalisés par jour.

* Phénotype Rhésus, Kell

* Recherche des agglutinines irrégulières (RAI) par gel filtration

* Coombs direct et indirect

* Détermination de la formule leucocytaire, comptage des globules rouges et plaquettes réalisés par un automate (Coulter) : les cellules, en suspension dans un liquide conducteur, se comportent en isolants discontinus et passent dans un petit orifice cylindrique.

Le nombre d'impulsions électriques correspond au nombre de cellules. Les résultats sont présentés sous forme d'histogramme.

* Bilan de coagulation : dosage des facteurs de la coagulation, du fibrinogène, des D dimères (produits de dégradation de la fibrine), détermination du temps de prothrombine (TP) et du TCA (temps de céphaline activée), recherche d'anticorps anticoagulants circulants.

1-2.3. Immuno-électrophorèses

Toutes les étapes de migration des échantillons, de séchage, de fixation, d'immunoprécipitation, de lavages et de coloration sont effectuées par un automate.

Immunoélectrophorèses des protéines plasmatiques, des urines, du LCR (*voir annexe 1*).

1-2.4. Analyses bactériologiques et parasitologiques

Ces analyses restent très peu automatisées et sont proches de ce qui est enseigné en section STL et BTS Analyses Biologiques.

Cependant, il existe des lecteurs de galerie, un système informatique couplé à une caméra pour interpréter les antibiogrammes réalisés manuellement.

Les hémocultures sont réalisées en flacons aérobie et anaérobie, sous agitation permanente. Un appareil lit les hémocultures positives.

1-3. Rôles du technicien

Les rôles des techniciens sont multiples dans ce laboratoire où une grande autonomie leur est laissée.

Les techniciens doivent être polyvalents au niveau des automates car ils sont régulièrement astreints à des gardes car ce laboratoire travaille avec des cliniques privées qui envoient souvent des analyses en urgence.

1-3.1. Traitement des échantillons

- Enregistrement du patient sur ordinateur et étiquetage des échantillons avec un code barre que reconnaissent les automates.

- Ouverture des tubes avec des gants et centrifugation de l'échantillon (sang).

Remarque : toutes les autres étapes sont effectuées sans gants

- chargement des échantillons dans les automates. Cela demande une bonne organisation afin de mener le plus d'analyses possibles de front.

- saisie des résultats.

- contrôle de la validité des résultats sortis sur ordinateur ; nouveau passage de l'échantillon si résultat douteux. Le technicien doit avoir l'esprit critique et être capable de déceler l'origine de ce résultat insatisfaisant.

1-3.2. Bonnes pratiques de laboratoire

Les techniciens sont chargés de rédiger pour chaque poste la marche à suivre, étape par étape, pour traiter les échantillons.

Avant la mise en route d'un automate, les techniciens sont tenus de vérifier les niveaux en produits (signalement informatique), de passer les étalons ainsi que les contrôles pour vérifier que l'appareil est bien calibré. Ils doivent être en mesure de lire les courbes de calibration et de les interpréter. Toutes ces procédures s'effectuent régulièrement pour chaque automate (1 fois par semaine en moyenne).

Les procédures d'élimination des déchets doivent être strictement respectés (élimination des déchets biologiques dans des poubelles pour incinération, rejet des solvants dans des récipients prévus à cet effet...).

1-3.3. Maintenance

Les stocks de produits sont gérés par ordinateur par les techniciens qui doivent enregistrer les entrées et les sorties pour chaque produit.

Les techniciens ont également un rôle important de maintenance des appareils : maintenance journalière (nettoyage de la zone « échantillon »), maintenance hebdomadaire (vérification du débit d'air), maintenance mensuelle (entretien des sondes, nettoyage des tuyaux) et maintenance périodique. Pour cela, ils peuvent bénéficier de stages de formation organisés par les sociétés qui fabriquent les appareils.

1-3.4. Prélèvements sanguins

Actuellement, les laboratoires d'analyse exigent de plus en plus que les techniciens aient passer leur habilitation à prélever. Cette habilitation comporte un examen théorique et un examen pratique (réalisation de 40 à 50 prélèvements en présence d'une personne compétente dans un hôpital ou une clinique).

Il existe également un code de bon prélèvement que le technicien doit suivre.

2- VISITE DU LABORATOIRE DE BIOTECHNOLOGIES DE L'ENVIRONNEMENT DE L'INRA

2-1. Organisation du laboratoire

2-1.1. Structure

L'INRA est composé de divers départements de recherche qui emploient 10 000 personnes en France. Le laboratoire de Narbonne fait parti du département «Biotechnologies de l'environnement » et compte 50 employés.

Ce laboratoire est composé de cinq équipes menant une recherche fondamentale et appliquée dans le domaine du traitement des pollutions et de valorisation de la matière présente dans les rejets.

Un centre de transfert des technologies rattaché au laboratoire permet de nombreuses relations avec les industries.

Organigramme plaquette

2-1.2. Personnel

Les 50 personnes employées se répartissent comme suit :

	Titre	Diplôme
25 permanents	15 chercheurs : - Directeurs de recherche - Chargés de recherche - Ingénieurs de recherche - Ingénieurs d'étude	- Doctorat de sciences, post-doctorat - Doctorat - Diplôme d'ingénieur, DEA
	10 techniciens et administratifs : - Techniciens de recherche (normal, supérieur et exceptionnel) - Adjointes techniques - Agents techniques	- Niveau bac + 2 (BTS, DUT, IUT...) - BEP, CAP
25 non permanents	- Post Docs - Doctorants - étudiants en DEA - stagiaires BTS, IUT...	

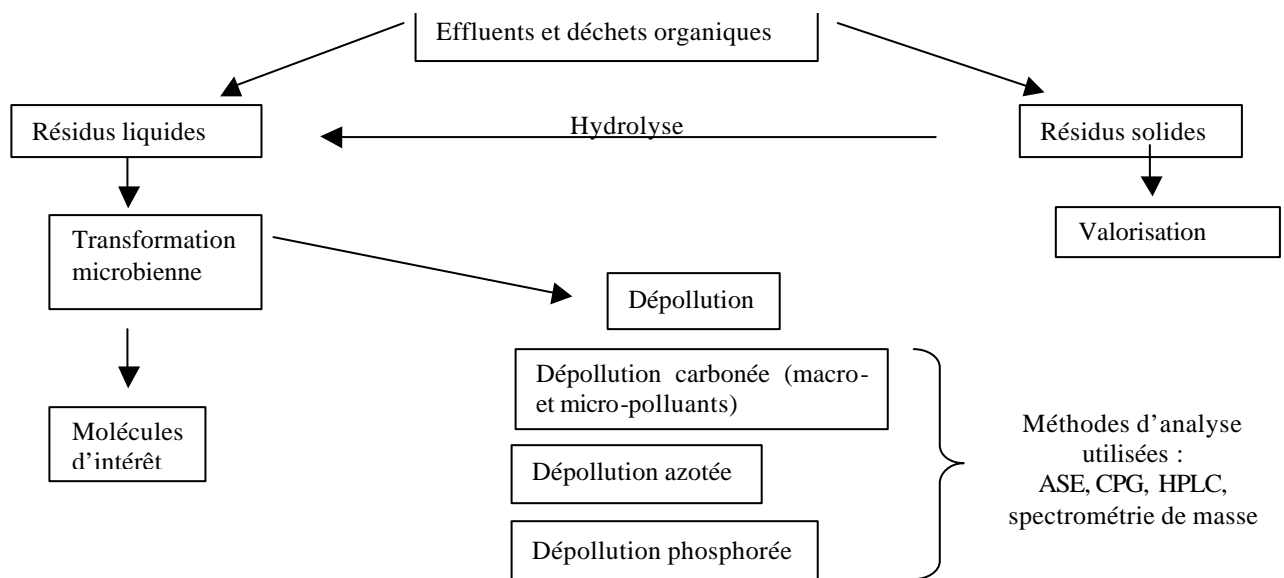
Remarque : 50 % de l'effectif sera renouvelé d'ici 2005-2010.

2-2. Activités du laboratoire

Seules deux équipes ont fait l'objet d'une visite : l'équipe de Génie Microbiologique et l'équipe de Microbiologie Moléculaire.

2-2.1. Génie Microbiologique

Les effluents (eaux résiduelles urbaines, lisiers de porcs, effluents fromagers et vinicoles) et les résidus solides biodégradables (boues d'assainissement) peuvent être traités par diverses voies (voie physico-chimique, voie biologique). Le laboratoire de Biotechnologies de l'Environnement étudie les procédés microbiologiques d'élimination de la matière organique selon la stratégie suivante :



L'objectif de l'équipe de Génie Microbiologique est d'étudier et d'optimiser les réactions en fermenteurs. Ce traitement microbiologique des déchets organiques comprend trois types de dépollution : dépollutions carbonée, azotée et phosphorée.

* **Dépollution carbonée**

(voir annexe 2)

→ Élimination des macropolluants

Deux techniques différentes de dépollution carbonée sont testées au laboratoire : dépollution par voie aérobie et par voie anaérobie ou méthanisation (voir annexe 1). Les conditions de pH et de température sont fixées de façon à favoriser le développement des bactéries impliquées dans les réactions de dépollution (population hétérogène de bactéries filamenteuses responsables du floc et épuratrices) au détriment des autres espèces vivantes (protozoaires, virus).

Aucune recherche de manipulation génétique des bactéries épuratrices en vue d'améliorer le processus de dépollution n'est effectuée. En effet, de telles bactéries modifiées en laboratoire auraient très peu de chances de trouver des conditions favorables de développement dans l'environnement. Tout au plus, est-il possible d'introduire des souches adaptées (souches prélevées dans un milieu déjà pollué par le polluant que l'on souhaite traiter), procédé appelé la bioaugmentation.

→ Élimination des micropolluants

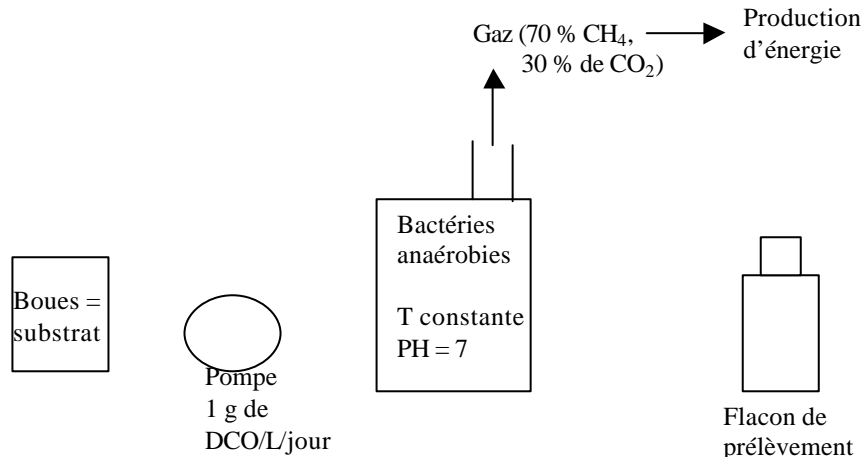
Les micropolluants sont des molécules présentes à l'état de traces dans les déchets organiques à traiter.

Les boues d'assainissement font l'objet d'épandage à 60 %, le reste étant incinéré (15 %) ou stocké (25 %; stockage interdit à partir de Juillet 2002). Or l'épandage est soumis à une réglementation en constant remaniement. En prévision des nouvelles normes d'autorisation de l'épandage, l'équipe a axé ses recherches sur plusieurs micropolluants, les détergents, les HAP (hydrocarbures aromatiques) issus de la combustion (fumée de voiture, de cigarettes) et les PCB (polychlorobiphényle) issus d'isolants électriques. Ces micropolluants se retrouvent dans les eaux de pluie et par conséquent au niveau des stations d'épuration. Certains possèdent des effets estrogènes marqués, entraînant la féminisation des poissons, ce sont des disrupteurs endocriniens.

Voici la stratégie de recherche adoptée dans le but d'étudier et d'optimiser l'élimination microbiologique de ces micropolluants :

- digestion anaérobie par des bactéries méthanisantes de l'environnement

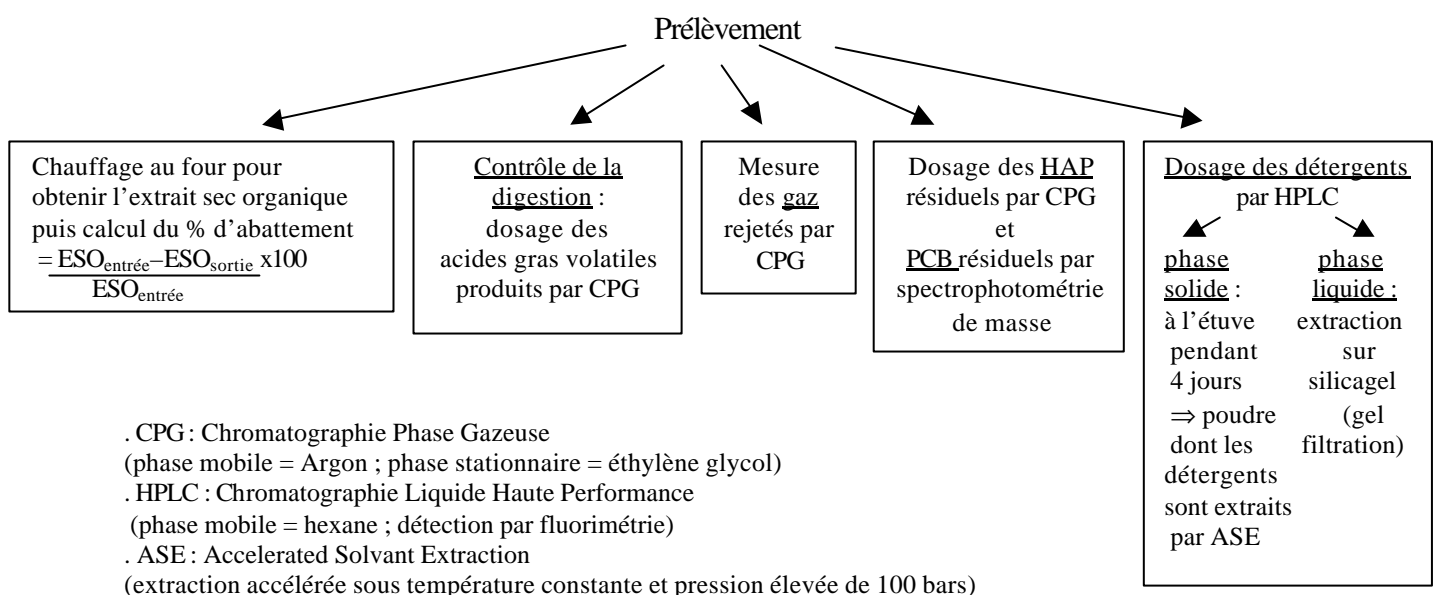
Schéma d'un digesteur de laboratoire (« mini-station d'épuration ») :



Le volume dans le digesteur reste constant. Le nombre de bactéries est constant (temps de séjour de 20 jours dans le digesteur).

Trois digesteurs ont été mis en place : un digesteur à 35 °C, un autre à 45 °C et enfin un témoin sans bactéries (avec azide de sodium) pour pouvoir déterminer la dépollution due aux bactéries.

- Afin de déterminer l'efficacité de la dépollution effectuée par les bactéries méthanisantes, des prélèvements après digestion sont effectués chaque semaine et analysés de la manière suivante :



*** Dépollution azotée :**

(voir annexe 2)

La plupart des stations d'épuration utilise des systèmes de dépollution mettant en jeu la biomasse libre ou des réacteurs à lit fixe.

Le laboratoire travaille sur la mise au point d'un réacteur à lit fluidisé : les bactéries se développent à la surface de microbilles creuses de verre en mouvement permanent grâce à une circulation d'air.

Cela a pour avantage d'augmenter la surface disponible pour que les bactéries se multiplient. Ainsi, la taille des réacteurs peut être diminuée puisqu'ils peuvent contenir autant de bactéries qu'un réacteur classique plus important. La surface d'une station d'épuration peut donc être considérablement diminuée, ce qui intéresse particulièrement les industriels. De plus, les réacteurs à lit fluidisé présentent l'avantage de ne pas se colmater contrairement aux réacteurs à lit fixe.

*** Dépollution phosphorée**

(voir annexe 2)

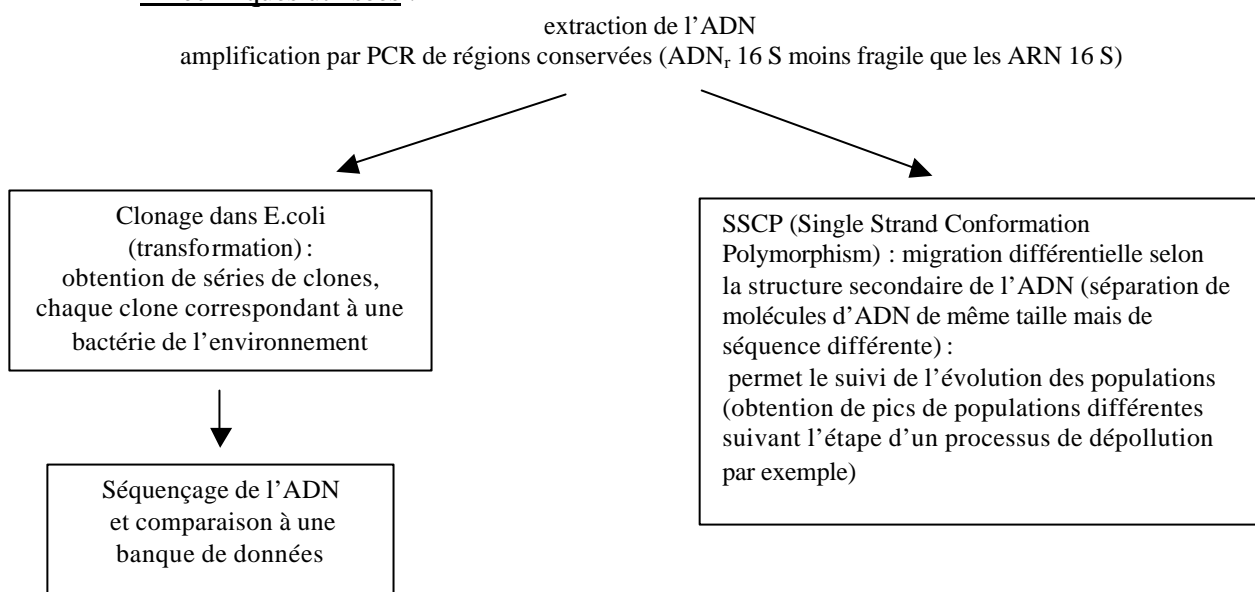
Le phosphore peut être éliminé par voie chimique en les précipitant avec des sels de métaux (fer, aluminium).

Le laboratoire développe une voie biologique de dépollution. En effet, certaines bactéries en aérobiose ont la propriété de pouvoir accumuler le phosphore sous forme de granules de polyphosphates alors qu'en anaérobiose, elles peuvent libérer du phosphate utilisable comme engrais.

2-2.2. Microbiologie moléculaire

Cette équipe étudie les populations polymicrobiennes de l'environnement et a pour objectif d'établir les profils microbiens d'écosystèmes variés. De nombreuses bactéries ne sont pas cultivables car on ne dispose pas de milieu de culture convenable. Face à ce problème, on peut avoir recours aux techniques de biologie moléculaire.

*** Techniques utilisées :**



* Fabrication des fromages : déterminer quel microorganisme est responsable de tel aôme et fabriquer des levains artificiels.

* Industrie agro-alimentaire : déterminer quel microorganisme s'est multiplié dans un produit contaminé, connaître la microflore empêchant le développement de bactéries pathogènes, disposer d'une traçabilité du profil microbien d'un produit.

* Environnement : déterminer quels sont les bactéries indésirables dans les boues d'épandage.

2-3. Rôles du technicien

- réalisation d'expériences selon un protocole défini par un chercheur.
- présentation des résultats : utilisation des outils statistiques (moyenne, écart-type, coefficient de variation ...), maîtrise de logiciel comme Excel, Word.
- critique éventuelle des résultats et recherche de l'élément responsable de l'obtention de résultats inexploitable.
- maintenance des appareils
- formation technique des stagiaires

3- UTILISATIONS PEDAGOGIQUES POSSIBLES

Les domaines d'applications concernés sont principalement la Biochimie, l'Immunologie, l'Hématologie et la microbiologie. Les observations effectuées lors de ces stages peuvent servir de base à un TP ou illustrer un cours en :

* Terminale SMS : programme d'immunologie

* Terminale STL :

- programme de Biochimie (dosages par méthodes enzymatiques)
- programme de Biologie Humaine (groupage ABO, techniques immunologiques)
- programme de microbiologie (démarche diagnostique d'une infection)

* BTS Analyses Biologiques et BTS Biochimie : toutes les activités du laboratoire d'analyse médicale sont susceptibles de trouver une application.

* BTS Biotechnologies : la mise au point de procédés de dépollution par voie microbiologique peut intéresser ce BTS.

CONCLUSION

Ces deux stages aussi bien au laboratoire d'analyse médicale qu'au laboratoire de Biotechnologies de l'environnement ont été très enrichissants. Ils m'ont permis, d'une part, de bien percevoir les multiples fonctions d'un technicien, et d'autre part, d'illustrer certains domaines demeurés théoriques lors de mon cursus.

Il semble particulièrement important pour un enseignant de Biotechnologies de rester en contact avec le milieu professionnel car un cours illustré est plus vivant pour l'élève et les disciplines enseignées évoluent très rapidement.

ANNEXE 1 :

ANNEXE 2 :

MEMOIRE PROFESSIONNEL

INTRODUCTION :

Lors des premières séances de travaux pratiques (T.P.) de Biochimie en classe de terminale STL, il apparaît difficile, pour l'enseignant, de comprendre les erreurs que les élèves commettent au cours d'exercices. Il est très frustrant de ne pas saisir le cheminement intellectuel singulier de chaque élève ayant conduit à une erreur. Si les causes des erreurs ne sont pas clairement mises à jour, les séances de correction ne peuvent rectifier précisément le schéma de pensée de l'élève. Par conséquent, l'élève reste insatisfait et subit la correction plus qu'il n'en profite. L'élève ne peut exploiter ses erreurs pour progresser. C'est pourquoi une meilleure compréhension des causes d'erreurs, de la part de l'enseignant, mais aussi et surtout des élèves, paraît essentielle et peut constituer une aide à la construction des savoirs.

Partant de cet état de fait, le choix de la thématique de ce mémoire professionnel s'est donc porté sur le recensement et l'analyse de tout type d'erreurs rencontrées à travers des exercices de Biochimie ainsi que sur diverses modalités de correction afin d'aider les élèves à mieux comprendre leurs erreurs.

Cet intérêt pour l'erreur est assez récente dans le système scolaire français où elle est habituellement perçue plutôt négativement. Cette perception est culturelle comme le révèle la définition par le dictionnaire : « prendre pour vrai ce qui est faux, et réciproquement ». Pour redonner sa véritable place à l'erreur au sein du système éducatif, il faut commencer par se défaire de cette définition à connotation péjorative. L'étymologie latine considère l'erreur comme le fait d'« errer çà et là ». Cette définition ne porte aucun jugement de valeur et permet de considérer l'erreur comme un élément incontournable : comment ne pas « errer » quand on ne connaît pas le chemin ? C'est cette « errance » même qui doit permettre à l'élève de construire son savoir.

S'appuyant, dans une première partie, sur les données de la littérature plaçant l'erreur au cœur de l'apprentissage, le présent mémoire propose, dans une seconde partie, trois expérimentations. L'objectif est d'analyser les causes d'erreurs dans la perspective de s'appuyer dessus pour progresser. Enfin, une troisième partie est consacrée à l'analyse des résultats et aux critiques.

1- CHOIX DE LA THEMATIQUE

1-1. Problèmes observés en T.P. de Biochimie

A travers la rédaction de compte-rendus et la correction d'exercices, d'interrogations sur les techniques de laboratoires (TL), il s'est avéré rapidement difficile de comprendre le cheminement intellectuel des élèves menant à une erreur. Or il apparaît capital de bien décrypter les causes d'erreurs :

- pour l'enseignant, de façon à mieux adapter ses corrections, ses explications.
- pour les élèves, afin d'éviter de reproduire leurs erreurs.

Les exemples qui suivent tendent à illustrer le décalage qui peut exister entre la vision de l'enseignant sur la compréhension de ses explications et la façon dont ces explications sont réellement assimilées par les élèves. Les erreurs commises par les élèves sont souvent surprenantes et assez déconcertantes pour l'enseignant.

1-1.1. Erreurs commises lors d'une interrogation d'enzymologie (voir annexe 1)

Contexte : cette interrogation de vingt minutes a été réalisée alors que des T.P., ayant pour but d'introduire les notions complexes d'enzymologie, avaient été effectués ainsi que le cours d'enzymologie.

Malgré ce souci d'illustration du cours par des séances de T.P. préliminaires, de nombreuses erreurs ont été commises par les élèves.

1-1.2. Erreurs commises lors d'un exercice (voir annexe 2)

Contexte : cet exercice a été effectué en séance de T.P. alors que des exercices de révision ainsi que des T.P. portant sur les notions de gamme d'étalonnage et le calcul de concentrations massiques avaient été préalablement réalisés.

1-1.3. Erreurs commises lors de la rédaction d'un compte-rendu (voir annexe 3)

Contexte : il est demandé d'écrire les équations d'oxydo-réduction mises en jeu à partir du protocole et des couples d'oxydo-réduction. Plusieurs dosages volumétriques par oxydo-réduction ont déjà été réalisés dans l'année avec le rappel de la méthode pour équilibrer les réactions. Malgré cela, beaucoup d'élèves semblent perdus.

☞ Constatant tout au long de l'année qu'il est très difficile de cerner les causes des erreurs commises, un recensement des erreurs ainsi qu'une analyse de leurs causes afin de mieux répondre aux difficultés des élèves par le biais des corrections m'ont paru s'imposer.

De façon à mettre en place ce projet, une lecture de la littérature dans ce domaine est nécessaire.

1-2. Statuts de l'erreur en milieu scolaire

Le milieu scolaire ainsi que le sens commun font preuve d'une aversion spontanée pour l'erreur. Comme l'écrit Jean-Pierre Astolfi (*L'erreur, un outil pour enseigner*), cette aversion correspond à une certaine représentation de l'acte d'apprendre qui serait perçu comme une sorte de « tapis roulant » de connaissances progressant au rythme d'un système d'engrenages bien huilés, sans détour ni retour.

Une telle représentation nie en bloque l'intérêt de l'erreur dans l'apprentissage. L'erreur n'est ici que le synonyme de « faute » dont l'élève est responsable et qui doit être sanctionnée. Elle peut également avoir le statut de « bogue » (bug en anglais) relevant de la responsabilité de l'enseignant qui doit s'adapter au niveau des élèves et revoir sa progression. Dans les deux cas, l'erreur est perçue négativement.

Au contraire, des modèles constructivistes s'efforcent de ne pas évacuer l'erreur mais de lui donner un statut beaucoup plus positif en la laissant apparaître, voire même en la provoquant pour mieux réussir à la traiter. L'erreur est ici conçue comme « un symptôme intéressant d'obstacles auxquels la pensée de l'élève est affrontée ». L'erreur se situe au cœur du processus d'apprentissage, est chargée de sens et représente un indicateur des processus intellectuels en jeu. La démarche adoptée ici est de « décortiquer la logique de l'erreur pour améliorer l'apprentissage ».

Le tableau ci-dessous (*L'erreur, un outil pour enseigner*) résume ces trois statuts différents de l'erreur selon le modèle pédagogique utilisé :

	LA FAUTE	LA BOGUE	L'OBSTACLE
Statut de l'erreur	L'erreur déniée (« raté », « perle », « n'importe-quisisme »)		L'erreur positivée (postulat du sens)
Origine de l'erreur	Responsabilité de l'élève qui aurait dû la parer	Défaut repéré dans la planification	Difficulté objective pour s'approprier le contenu enseigné
Mode de traitement	Evaluation <i>a posteriori</i> pour la sanctionner	Traitement <i>a priori</i> pour la prévenir	Travail <i>in situ</i> pour la traiter
Modèle pédagogique de référence	Modèle transmissif	Modèle behavioriste	Modèle constructiviste

1-3. Typologie des erreurs

Placer l'erreur au cœur des apprentissages pour en faire un générateur de progrès au lieu de la considérer uniquement comme un élément négatif à rejeter apparaît donc s'imposer. Cela implique de l'étudier pour mieux la comprendre. Or l'erreur est complexe car plurielle. Une classification des erreurs permet de clarifier cette complexité. Jean-Pierre Astolfi propose la typologie suivante des erreurs :

* *erreurs relevant de la compréhension des consignes* : problème du lexique de chaque discipline, problème de français.

* *erreurs résultant d'habitudes scolaires* ou d'un mauvais *décodage des attentes* : problème de compréhension de la part de l'élève de ce que l'on attend de lui dans une discipline particulière.

* *erreurs témoignant de conceptions alternatives de l'élève* : mauvaises représentations, « idées reçues »

* *erreurs liées aux opérations intellectuelles impliquées* : pouvant ne pas être disponibles chez l'élève alors qu'elles paraissent « naturelles » à l'enseignant.

* *erreurs portant sur les démarches adoptées* : démarches très diverses alors que le professeur s'attend à l'emploi d'une procédure canonique et peut ne pas comprendre le cheminement ou l'intention de l'élève.

* *erreurs dues à une surcharge cognitive* : problème de mémoire de travail.

* *erreurs ayant leur origine dans une autre discipline* : difficulté de transfert des connaissances d'une discipline à une autre.

* *erreurs causées par la complexité propre du contenu*

☞ Disposer d'une telle typologie permet de « mettre un nom » sur chaque erreur et constitue une première étape dans l'exploitation de l'erreur en tant que générateur de progrès.

De façon à rebondir sur l'erreur, il apparaît très important que l'enseignant et l'apprenant effectuent ce travail d'analyse de l'erreur. A cette condition, l'erreur peut alors devenir un outil de travail, une source de progrès pour l'élève.

La correction au tableau d'un T.P., d'un exercice ou d'une T.L. devrait représenter un des moyens permettant à l'élève de mieux comprendre la cause de son erreur. Cependant, le plus souvent, l'élève la subit passivement. L'enseignant peut avoir le sentiment de « donner un coup d'épée dans l'eau ». Rendre la correction plus interactive est une nécessité pour qu'elle soit plus profitable à l'apprenant.

1-4. Pour une meilleure compréhension des causes d'erreurs

Si, comme l'exprime Daniel Descamps, la séance de correction est ennuyeuse pour tout le monde, c'est peut-être parce qu'elle est vide de sens et de communication, parce qu'elle n'est pas un véritable rendez-vous.

Or la séance de correction doit servir à former l'élève, c'est-à-dire à communiquer et à accompagner, dans la construction des différents savoirs.

Pour cela, les élèves doivent être « mobiles » :

- pour questionner le professeur qui ira de l'un à l'autre apporter une aide à l'analyse des erreurs
- pour aller voir un camarade susceptible d'apporter un éclaircissement, une idée, un exemple de réussite.

Les compétences mises en place sont :

- l'analyse des processus erronés
- la conceptualisation des erreurs de toute nature
- la recherche des personnes ressources (professeur, camarades ...)
- l'entraide
- l'acceptation de l'erreur comme étape indispensable dans la construction des savoirs
- la persévérance
- la recherche de la perfection dans le travail
- l'acceptation intellectuelle et sociale des règles du système scolaire
-

A l'issue de ce travail de correction, chacun devra compléter sa « Fiche de suivi des causes d'erreurs » qui peut se présenter ainsi :

TYPE D'ERREUR	Nombre d'erreurs Devoir 1	Nombre d'erreurs Devoir 2	Nombre d'erreurs Devoir 3	Nombre d'erreurs Devoir 4
De langue : - concordance des temps - langage familier - etc.				
De méthode : - prise d'indices - analyse - conceptualisation - etc.				
De construction du devoir : - plan - citations - etc.				
De savoir être : - anticipation				

<ul style="list-style-type: none"> - mise en conditions physiques favorables - mise en conditions psychologiques favorables - gestion du temps - etc. 				
---	--	--	--	--

Ainsi, l'élève en possession de cette fiche peut établir son profil personnel. L'expérience prouve que chacun est « abonné » aux mêmes erreurs, finalement pas si nombreuses.

L'élève aura ainsi un outil performant à plusieurs titres, pour :

- dédramatiser ses erreurs en les nommant, en les cernant et en constatant, que leur nombre n'étant pas infini, la lutte peut être engagée, car l'ennemi est maintenant bien connu
- se donner des objectifs de réussite parfaitement et progressivement ciblés
- faire des révisions et un entraînement personnalisés, sur la base du profil donné.

☞ A partir du constat en T.P. de Biochimie de la difficulté à comprendre les causes d'erreurs, pour ma part, comme pour l'élève lui-même, et en s'inspirant des données de la littérature, quelques expérimentations ont été menées.

2- EXPERIMENTATIONS PROPOSEES

2-1. Séances de correction interactives

2-1.1. Objectifs :

- réaliser des séances de correction où l'apprenant est plus actif
- faciliter la communication entre élèves et professeur
- permettre à l'élève de mieux repérer les causes de ses erreurs de façon à ne plus les reproduire

2-1.2. Modalités de réalisation

Trois expérimentations différentes portant sur la correction de TL et d'exercices ont été menées avec un groupe de treize élèves.

Nom de l'expérimentation	Contexte	Modalités de réalisation
<p>♦ TL(voir annexe 4) :</p> <p>Détermination de la concentration d'activité catalytique de l'aspartate amino-transférase (ASAT)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - deux T.P portant sur la détermination de concentration d'activité catalytique (de l'ALAT et de la γ-GT) par méthode cinétique et méthode « deux points » avaient été présentés et réalisés auparavant. 	<ul style="list-style-type: none"> - TL réalisée, dans le temps réglementaire (30 minutes), en début de séance de T.P.. - correction effectuée juste après - Du fait que les élèves ont bien en tête les questions posées et les difficultés qu'ils ont rencontrées, cela doit dynamiser la séance de correction. En effet, l'élève doit être plus impliqué, avide de poser les questions qu'il s'est peut-être lui-même posé quelques minutes plus tôt.

<p>* Détermination de la concentration d'activité catalytique de la créatine kinase (CK)</p>	<p>concentration d'activité catalytique d'autres enzymes par méthode cinétique et méthode « deux points » réalisée auparavant en T.P.</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Après vérification que chaque élève a effectivement répondu aux questions, une correction écrite est fournie (voir annexe 7). Cette correction est à lire à la maison et à comparer par l'élève à ses propres réponses de manière à ce qu'il effectue un travail personnel de réflexion sur ses éventuelles erreurs. - Ce travail étant fait, la correction est commentée en classe de façon à ce que l'élève ayant disposé de temps pour prendre connaissance de ses
---	---	--

		erreurs puisse poser des questions sur la démarche qu'il aurait dû suivre.
<p>♦ TL de bac blanc (voir annexe 6) :</p> <p>* Détermination de l'indice d'iode d'un corps gras</p> <p>* Détermination de la concentration d'activité catalytique de l'alanine aminotransférase (ALAT)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - détermination de l'indice d'iode d'un acide gras présentée et réalisée en T.P. en début d'année - deux T.P et un exercice portant sur la détermination de concentration d'activité catalytique (de l'ALAT et de la γ-GT) par méthode cinétique et méthode « deux points » réalisés auparavant 	<ul style="list-style-type: none"> - TL réalisée dans les conditions de l'examen. - Correction effectuée une semaine après. Un temps suffisamment long est laissé aux élèves pour lire les commentaires sur leur copie et qu'ils puissent préparer leurs questions. - De façon à ce que la correction réponde au mieux aux erreurs relevées, pour chaque question, un élève ayant été particulièrement en difficulté est envoyé au tableau. La correction est effectuée par l'élève avec l'aide du professeur. - Préalablement, de façon à mettre l'élève le plus à l'aise possible, il aura été rappelé que les erreurs ne sont pas une honte mais, qu'au contraire, elles peuvent être génératrices de progrès pour peu que l'on s'y penche.

2-2. Analyse des causes d'erreurs

2-2.1. Objectifs

- permettre à l'apprenant comme à l'enseignant, de dégager et de comprendre au mieux les causes d'erreurs à travers les différents types d'exercices proposés ci-dessus.
- inviter l'élève à relire attentivement la correction de façon à la comparer à son propre itinéraire de raisonnement et à saisir à quelle étape de sa réflexion l'erreur a été commise et pourquoi.
- permettre au professeur d'avoir un support pour confronter son point de vue sur les causes d'erreurs à celui de l'élève et pour analyser ces causes d'erreurs de façon à mieux cibler la correction, à mieux guider l'élève.

2-2.2. Modalités de réalisation

S'inspirant de la fiche d'erreurs proposée par Daniel Descamps, une fiche de suivi des causes d'erreurs est établie pour chacune des expérimentations :

* fiche de suivi des causes d'erreurs de l'expérimentation N°1 (TL : Détermination de la concentration d'activité catalytique de l'aspartate amino-transférase) : *voir annexe 4*

* fiche de suivi des causes d'erreurs de l'expérimentation N°2 (exercices : détermination de l'acidité totale d'un vin et détermination de la concentration d'activité catalytique de la créatine kinase) : *voir annexe 5*

* fiche de suivi des causes d'erreurs de l'expérimentation N°3 (TL de bac blanc : détermination de l'indice d'iode d'un corps gras et détermination de la concentration d'activité catalytique de l'alanine aminotransférase) : *voir annexe 6*

Cette fiche est remplie par l'élève après chaque correction qui a pour objectif, comme il a été expliqué plus haut, d'aider l'élève à mieux cerner les causes de ses erreurs.

Cette fiche est plus spécialisée que celle proposée par Daniel Descamps. A chaque question de la TL ou de l'exercice correspondent des propositions de causes d'erreurs auxquelles l'élève répond par + (réponse affirmative) ou par - (réponse négative). Toute latitude d'expression est bien sûr laissée à l'élève par la proposition « autres causes ».

2-3. Problèmes rencontrés dans la réalisation des expérimentations

Les séances de T.P de Biochimie en Terminale sont très chargées et sont toujours découpées selon le schéma suivant :

- * TL ou correction de la TL de la semaine précédente
- * correction du T.P. de la semaine précédente
- * présentation du T.P. du jour
- * réalisation du T.P.
- * rédaction du compte-rendu

La mise en place de certaines expérimentations a donc du être modifiée par manque de temps :

- les fiches de suivi des causes d'erreurs n'ont pas toujours pu être remplies en séance de T.P. alors que la correction était encore présente dans l'esprit des élèves.

- les exercices donnés à faire à la maison auraient dû faire l'objet d'une séance de T.D.. Au cours de cette séance, j'aurais pris le temps d'observer les erreurs de chaque élève. Ainsi, j'aurais pu guider les élèves de façon à ce qu'ils comprennent mieux la source de leurs erreurs. L'exercice aurait été corrigé en insistant sur les erreurs relevées.

3- ANALYSE DES RESULTATS

3-1. Analyse des causes d'erreurs

3-1.1. Analyse des fiches de suivi des causes d'erreurs

Les résultats des trois expérimentations sont regroupés dans le tableau ci-contre. Lorsque cela a été possible, la typologie des erreurs de Jean-Pierre Astolfi et de Daniel Descamps a été reprise. A chaque type d'erreur correspondent des croix représentant le nombre d'élèves sur treize ayant commis l'erreur.

Quelques précisions concernant les erreurs les plus marquantes :

**** erreurs provenant d'un mauvais décodage des attentes et/ou d'une compréhension erronée de la consigne***

- ex. 1 : les élèves, n'ayant pas prêté attention à l'intérêt de la détermination de la catc de l'ALAT sérique et/ou qui n'ont pas compris ce que sous-entendait la question, ont répondu comme suit à la question 1 de l'expérimentation N°1 :

Erreur de Marjolaine

- ex. 2 : Sept élèves ont des difficultés de vocabulaire et ne savent pas ce que sous-entend le mot «principe» : les conditions opératoires sont énoncées sans que le principe de la méthode cinétique soit exposé.

Erreur Fanny

- ex. 3 : Cinq élèves ne savent pas que le terme « établir » implique qu'il faut démontrer la formule et non simplement écrire directement la formule finale.

*** Erreurs portant sur la complexité des contenus**

- ex. 1 : la formule littérale de la concentration d'activité catalytique (catc) est particulièrement difficile à démontrer puisque, dans les trois expérimentations, des erreurs sont commises par de nombreux élèves bien que la démonstration ait été expliquée à plusieurs reprises. Les notions d'enzymologie et les liens entre les différentes étapes nombreuses de la démonstration sont en effet délicats à comprendre pour des élèves de Terminale.

- ex. 2 : parmi les conditions opératoires de la détermination de la catc d'une enzyme, la condition $\text{catc}_{(\text{enzyme de la réaction indicatrice})} \gg \text{catc}_{(\text{enzyme de la réaction auxiliaire})} \gg \text{catc}_{(\text{enzyme à doser})}$ est très souvent oubliée car cette notion est particulièrement difficile à assimiler pour les élèves.

*** Erreurs dues à une surcharge cognitive**

- ex. 1 : cinq élèves ne savent pas comment exploiter les informations fournies par les spectres d'absorption. Ils semblent confondre le principe de la détermination des spectres d'absorption et le principe de la spectrophotométrie :

« Puisque l'absorbance est mesurée à 340 nm, l'absorbance due au NADP^+ diminue alors que celle due au NADPH, H^+ augmente ».

- ex. 2 : pratiquement aucun élève n'a su démontrer la formule littérale de l'indice d'iode. On peut supposer que devant le nombre de données à leur disposition (masse m de corps gras, nom des réactifs, volumes V_T et V_E , couples d'oxydo-réduction), ils n'ont pas su quelle démarche adopter.

*** Erreurs ayant leur origine dans une autre discipline**

Cinq élèves font des erreurs algébriques. De manière générale, les élèves de STL ont un niveau faible en mathématiques et éprouvent de grandes difficultés à sortir un terme d'une équation.

De même, les élèves de STL, dans leur ensemble, ont des difficultés pour s'exprimer à l'écrit.

*** Erreurs dues au savoir-être :**

- difficultés de concentration
- manque de confiance en soi
- problème de gestion du temps (élève trop lent ou qui répond trop rapidement)

*** Erreurs dues au manque de travail**

Beaucoup d'élèves reconnaissent ne pas s'entraîner aux exercices de Biochimie et certains ne consacrent que 30 minutes voire aucun temps à la lecture de la présentation des T.P..

☞ Il est souvent frustrant dans la pratique du métier d'enseignant de n'avoir que très peu de retour de la part des élèves. En effet, on leur demande rarement leur avis sur la façon d'enseigner. Or il peut être intéressant de confronter son point de vue d'enseignant au leur.

C'est pourquoi, j'ai souhaité qu'ils fassent un bilan sur les fiches de suivi des causes d'erreurs.

3-2.1. Bilan sur les fiches de suivi (voir ci-contre)

Il apparaît que grâce à ces fiches, les élèves ont, dans l'ensemble, dû lire la correction plus attentivement.

De plus, ce mode d'énumération systématique de leurs erreurs peut permettre, pour certains, de mieux cerner leurs erreurs et peut-être de les éviter au prochain exercice du même type.

Pour ma part, ce système de fiches m'a permis de recenser et de classer tous les types d'erreurs rencontrés dans les trois exercices. Les erreurs qui subsistent au niveau de la démonstration de la catc malgré des explications renouvelées sont frappantes. Elles débouchent sur une remise en question de la méthode utilisée pour expliquer cette démonstration. Par ailleurs, les difficultés d'interprétation des spectres d'absorption m'ont surpris et me font prendre conscience qu'il faudra expliquer cette notion très progressivement.

☞ Toutes ces erreurs ont pu être mises à jour grâce une correction dont les modalités ont varié pour chaque expérimentation. Afin de déterminer si tel type de correction a permis à l'élève de mieux débusquer et comprendre ses erreurs qu'une correction « classique », une fiche bilan a été distribuée à la fin des trois expérimentations afin que chacun puisse réaliser un bilan..

3-2. Bilan des différents modes de correction (voir ci-contre)

* La correction au tableau de la TL immédiatement après avoir ramassé les copies a beaucoup plus stimulé les élèves pour participer et semble être plus bénéfique pour la compréhension des erreurs qu'une correction une semaine après. Cependant, deux élèves semblent préférer avoir la correction plus tard, une correction immédiate étant génératrice de confusions plutôt que de progrès.

* La correction écrite commentée au tableau a été un véritable fiasco en matière de communication élèves/enseignant. En effet, les élèves ayant lu la correction et persuadés d'avoir tout compris sont demeurés plutôt passifs. Par contre, certains semblent apprécier de pouvoir disposer d'une correction écrite qu'ils peuvent lire « à tête reposée » chez eux et comparer à leurs réponses de façon à dépister leurs erreurs.

* La correction au tableau par un camarade assisté de l'enseignant après lecture de la copie corrigée rend la séance plus interactive. En effet, lors de la lecture de copie, l'élève se remémore le texte du sujet, constate ses erreurs et peut préparer des questions sur les points demeurés obscurs. De plus, le fait qu'un camarade soit au tableau ralentit le rythme de la correction et fournit une formulation de type « apprenant » qui peut être mieux comprise que la version professorale prémâchée.

3-3. Critiques et propositions

Le fait que, pratiquement, aucune réponse n'ait été faite à la proposition « autres causes d'erreur » montre qu'un accompagnement de l'élève dans l'utilisation des fiches de suivi des causes d'erreurs aurait été nécessaire. Cela aurait permis à l'élève de mieux comprendre le but de ces fiches et l'aurait amené à être plus actif dans sa réflexion sur les causes de ses erreurs.

Il aurait fallu que chaque élève fasse la synthèse de ses fiches de suivi. L'élève aurait pu observer s'il effectuait toujours le même type d'erreur (mauvaise compréhension des consignes, erreurs dues à une autre discipline, manque de concentration, mauvaise gestion du temps...) et établir ainsi son profil comme le suggère Daniel Descamps. Ce profil étant connu, il est alors plus facile de lutter contre ses erreurs. De plus, les objectifs de travail étant mieux définis grâce à ces fiches, cela aurait responsabilisé et motivé l'élève pour lire les présentations de T.P. et s'entraîner aux exercices.

Une fois les erreurs répertoriées, il aurait été intéressant de mettre en place des expérimentations, visant à rebondir sur l'erreur, plus ciblées que les séances de correction proposées ci-dessus:

- * définir mieux les objectifs lors des séances de présentation de T.P. de façon à ce que les élèves réalisent un meilleur décodage des attentes lors des TL..

- * réaliser un travail sur le vocabulaire utilisé dans les énoncés pour faciliter la compréhension des consignes.

- * consacrer plus de temps à l'explication des notions complexes (ex. : démonstration de la catc) de façon à les décomposer et éviter les erreurs dûes à la complexité du contenu.

- * consacrer du temps à chaque élève lors de séance de T.D. pour décomposer avec lui le raisonnement à suivre de façon à lutter contre la surcharge cognitive.

- * apprendre aux élèves à gérer leur temps lors des TL pour éviter les réponses trop rapides sans réflexion ou au contraire que seule la moitié des questions ait été traitée dans le temps imparti.

- * travailler en collaboration avec un psychologue scolaire afin de régler au mieux les difficultés de concentration, le manque de confiance en soi...

Toutes ces propositions supposent de disposer de beaucoup de temps, ce qui n'est pas le cas en classe de terminale où la perspective du baccalauréat impose un rythme soutenu de progression qu'il est bien difficile de moduler. Il serait peut-être en revanche plus aisé de réaliser ce travail sur l'erreur et ces expérimentations en classe de première où plus de temps est consacré aux différentes notions puisqu'elles sont nouvelles pour les élèves.

CONCLUSION

Il apparaît bénéfique pour l'apprenant que le système scolaire modifie sa perception négative de l'erreur qu'il faut sanctionner à tout prix. En effet, une vision positive de l'erreur comme faisant partie intégrante du processus d'apprentissage permet d'en faire un outil pour enseigner, un sorte de tremplin aux progrès de l'élève.

Dans cette perspective, trois expérimentations ont été menées tendant chacune à rendre plus actifs les élèves pendant les séances de correction, avec pour objectif de leur permettre de mieux comprendre la cause de leurs erreurs.

Le système de fiches de suivi des causes d'erreurs doit également amener les élèves à faire plus attention à la séance de correction. De plus, ce système tend à faire prendre conscience aux élèves de tous les types d'erreurs qu'ils commettent de façon à éviter de les reproduire à long terme. Enfin, ces fiches servent également à l'enseignant qui, loin d'ignorer les erreurs aussi déstabilisantes soient-elles, doit les prendre en considération pour améliorer ses explications et mieux répondre aux attentes des élèves lors des corrections.

Pour une meilleure compréhension des causes d'erreurs par les élèves, d'autres expériences auraient pu être menées :

- * correction des copies avec un code particulier pour chaque type d'erreur, instauré par l'enseignant de façon à faciliter la remontée des itinéraires erronés.

- * faire un exercice similaire à celui posé dans une interrogation et lister avec les élèves les erreurs à éviter.

- * donner à rédiger l'énoncé d'un devoir à des petits groupes d'élèves de façon à ce qu'ils maîtrisent mieux le vocabulaire habituellement utilisé et qu'ils repèrent à quel niveau ils sont susceptible de commettre des erreurs.

Les élèves devraient être sensibilisés dès leur plus jeune âge à l'intérêt de prendre en considération leurs erreurs. En effet, ils craindraient moins de commettre des erreurs si on leur faisait comprendre que c'est au contraire une nécessité dans l'acquisition des savoirs et que cela fait partie de leur métier d'apprenant.

BIBLIOGRAPHIE

Jean-Pierre ASTOLFI : *L'erreur, un outil pour enseigner*. Collection Pratiques et enjeux pédagogiques, ESF éditeur 1997.

Daniel DESCAMPS : *La dynamique de l'erreur*. Pédagogie pour demain - Nouvelles approches, Hachette Education.

Odile et Jean VESLIN : *Corriger des copies*. Pédagogie pour demain - Nouvelles approches, Hachette Education.

* ANNEXE 1 : Interrogation d'enzymologie et erreurs commises

* ANNEXE 2 : Dosage colorimétrique du phosphore d'une eau minérale par la méthode de Briggs et erreurs commises

- Exercice : dosage colorimétrique du phosphore d'une eau minérale par la méthode de Briggs

1. Le protocole opératoire pour la réalisation de la gamme d'étalonnage est donné dans le tableau suivant :

N° tube	0	1	2	3	4
Solution étalon de phosphore (mL)	0	0,2	0,4	0,6	0,8
Eau distillée (mL)	5				
Réactifs de coloration (mL)	3				
Quantité de phosphore (µg/tube)					60

- Compléter ce tableau en faisant apparaître les calculs pour un tube.
 - Calculer la concentration massique de la solution étalon en mg de phosphore par litre.
2. On relève sur l'étiquette la mention suivante : phosphore 18 mg.L^{-1} exprimé en P_2O_5 .
 - Calculer la concentration massique de cette eau, exprimée en mg de phosphore par litre.
 - Proposer une prise d'essai de cette eau à doser de manière à avoir une absorbance se situant au milieu de la gamme.

Données : $M(\text{P}_2\text{O}_5) = 142 \text{ g.mol}^{-1}$
 $M(\text{P}) = 31 \text{ g.mol}^{-1}$

- Erreurs fréquemment commises :

- question 1.2. : mauvaise lecture de la question à l'origine du calcul de la concentration dans le tube et non de la solution étalon.
- question 2.1. : non compréhension de la mention « exprimé en P_2O_5 ».
 - pas de passage par les concentrations molaires en phosphore et en P_2O_5 .
 - pas de prise en compte que 1 mole de P_2O_5 donne 2 moles de phosphore.

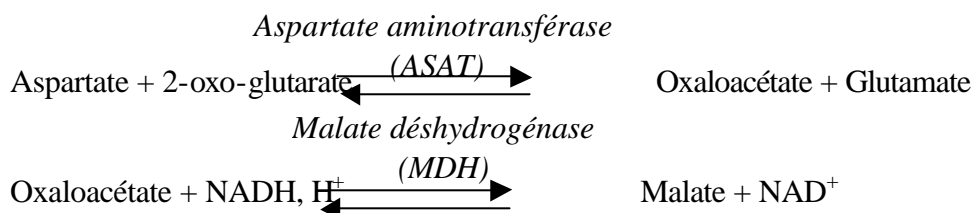
* **ANNEXE 3** : Détermination de l'éthanolémie

Erreurs commises :

- difficultés d'interprétation du protocole de façon à déterminer les espèces chimiques réagissant ensemble.
- application de la règle du «gamma» non pas au niveau des couples d'oxydo-réduction mais directement au niveau des demi-réactions, entraînant une erreur dans l'équation bilan.
- bilan des ions H^+ et des molécules d'eau non effectué

ANNEXE 4 (TL) : Détermination de la concentration d'activité catalytique de l'aspartate amino-transférase + fiche de suivi des causes d'erreurs (*voir ci-contre*)

* On se propose de déterminer la concentration d'activité catalytique de l'ASAT du sérum d'un patient. Cette détermination fait intervenir les équations suivantes :



* Le protocole utilisé est le suivant :

Dans une cuve thermostatée à 30 °C, on introduit :

- 3,1 mL de mélange réactionnel (aspartate, NADH, H^+ , MDH)
- 0,5 mL de sérum à doser dilué au 1/2
- Après 5 minutes, on ajoute 0,1 ml de solution de 2-oxo-glutarate

On lit l'absorbance à 340 nm en fonction du temps et on obtient les résultats portés sur le document annexe.

- 1) Expliquer l'intérêt de la détermination de la concentration d'activité catalytique de l'ASAT sérique.
- 2) Indiquer le nom de la méthode utilisée. Exposer son principe en précisant les conditions expérimentales à respecter.
- 3) Justifier la diminution de l'absorbance en fonction du temps.
- 4) Etablir la formule littérale permettant de déterminer la concentration d'activité catalytique du sérum dilué (en $UI.L^{-1}$).
- 5) En déduire la concentration d'activité catalytique du sérum (en $UI.L^{-1}$ et en $katal.L^{-1}$).

Document annexe : détermination de la concentration d'activité catalytique de l'ASAT

Données :

$$\epsilon_{\text{NADH, H}^+} = 6300 \text{ L.mol}^{-1}.\text{cm}^{-1}$$

Trajet optique de la cuve : 1 cm

ANNEXE 5 (exercice) : détermination de la concentration d'activité catalytique de la créatine kinase + fiche de suivi des causes d'erreurs (*voir ci-contre*)

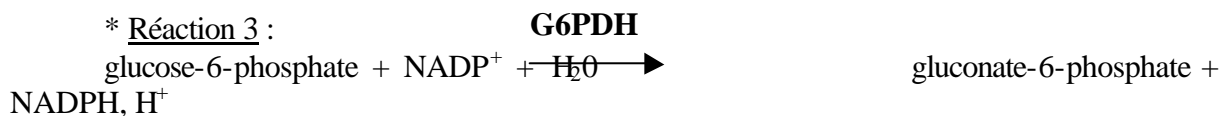
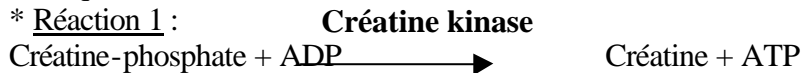
1. Pour déterminer la concentration d'activité catalytique de la créatine kinase, on dispose de trois réactifs :

- R1 : tampon imidazole-acétate pH 6,6 ; solution de D-glucose ; ADP ; azoture de sodium (conservateur)

- R2 : NADP⁺ ; hexokinase ; glucose-6-phosphate déshydrogénase (G6PDH)

- R3 : solution de créatine-phosphate

Les équations des réactions sont les suivantes :



1.1. Comment nomme-t-on chacune des réactions ?

1.2. Préciser les conditions opératoires permettant de déterminer la concentration d'activité catalytique de la créatine kinase.

2. Protocole :

Dans une cuve thermostatée à 30 °C, on introduit :

- un volume V₁ = 1 mL de réactif R1+R2

- un volume V₂ = 50 µL de sérum

- un volume V₃ = 100 µL de réactif R3

On lit l'absorbance à 340 nm toutes les 30 secondes pendant 2 minutes. On peut ainsi tracer le graphe A = f (t). La pente de la droite $\Delta A / \Delta t = 0,02 \text{ min}^{-1}$.

2.1. Quel est le nom de la méthode utilisée pour déterminer la concentration d'activité catalytique ? Expliquer le principe de cette méthode.

2.2. A partir des propriétés spectrales du NADP⁺ et du NADPH, H⁺ présentées ci-dessous, justifier la lecture de l'absorbance à 340 nm. Expliquer l'évolution de l'absorbance au cours du temps.

2.3. A partir de la loi de Beer-Lambert, établir la formule littérale donnant la concentration d'activité catalytique de la créatine kinase dans le sérum en micromoles de substrat disparu par minute et par litre (U.L.⁻¹).

2.4. Faire l'application numérique.

Données :

* Spectres d'absorption du NADPH et du NADP⁺

* $\epsilon_{\text{NADPH}} = 6,3 \cdot 10^3 \text{ mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1} \cdot \text{L}$

ANNEXE 6 (TL) : Détermination de l'indice d'iode d'un corps gras et détermination de la concentration d'activité catalytique de l'aspartate amino-transférase + fiche de suivi des causes d'erreurs (*voir ci-contre*)

1. Indice d'iode d'un corps gras

1.1. Donner la définition de l'indice d'iode (préciser les unités utilisées).

1.2. Pourquoi détermine-t-on l'indice d'iode d'un corps gras ?

1.3 Le protocole est le suivant :

Dans une fiole d'Erlenmeyer bouchant émeri, introduire :

- 100 mg de corps gras
- 10 mL de solvant (cyclohexane)
- 10 mL de réactif de Wijs

Boucher, agiter et laisser 30 minutes à l'obscurité en agitant de temps à autre.

Ajouter successivement dans la fiole d'Erlenmeyer :

- 10 mL d'iodure de potassium à 100 g.L⁻¹
- 50 mL d'eau distillée

Agiter.

Doser le diiode en excès par une solution de thiosulfate étalonnée à 0,200 mol.L⁻¹.

1.3.1. On relève sur les étiquettes des flacons les pictogrammes suivants :

Cyclohexane	Réactif de Wijs
F	C

Préciser leur signification. En déduire le comportement à adopter.

1.3.2. Ecrire les équations des réactions intervenant à chaque étape (le réactif de Wijs est une solution de monochlorure d'iode ; le corps gras sera symbolisé par la formule R-CH=CH-R').

2. Détermination de la concentration d'activité catalytique de l'alanine aminotransférase sérique (ALAT)

- On se propose de déterminer la concentration d'activité catalytique de l'ALAT sérique d'un patient. Pour cela, on dispose de trois réactifs :

- R1 : tampon tris pH 7,5 ; L-alanine ; azoture de sodium (conservateur)
- R2 : NADH,H⁺ ; lactate déshydrogénase (LDH) ; pyridoxal-5' phosphate
- R3 : 2-oxoglutarate (α-cétoglutarate) ; azoture de sodium (conservateur)

- Les équations des réactions sont les suivantes :



- Sachant que :

* le volume total de la cuve de mesure est : V_T mL

* le volume d'échantillon (sérum) est : V_E mL

* le coefficient d'extinction molaire du NADH, H^+ est : ϵ (en $\text{L} \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{cm}^{-1}$)

* le trajet optique de la cuve est : 1 cm

* la variation d'absorbance par minute est : $\Delta A / \Delta t$

établir la relation littérale donnant la concentration d'activité catalytique de l'ALAT dans le sérum en μmol de substrat disparu par minute et par litre (U.L^{-1}).

ANNEXE 7 : Correction de l'exercice « détermination de la concentration d'activité catalytique de la créatine kinase »

* **Question 1-1.** :

- 1^{ère} réaction : **réaction principale** car elle met en jeu le composé à doser (ici l'enzyme, la créatine kinase, CK).

- 2^{ème} réaction : **réaction auxiliaire** indispensable à l'enchaînement des deux autres réactions.

- 3^{ème} réaction : **réaction indicatrice** qui fait apparaître un produit ou disparaître un substrat ayant la propriété d'absorber la lumière. On peut ainsi suivre cette réaction par spectrophotométrie (ici, on suit l'apparition du coenzyme réduit NADPH, H^+).

* **Question 1-2.** : Conditions opératoires

- On veut déterminer la concentration d'activité catalytique ($\text{catc} = V_M / \text{volume de sérum}$) de la créatine kinase. Il faut donc que l'**enzyme à doser** (CK) soit **saturée en substrats** :

\Rightarrow [créatine-phosphate] et [ADP] $\geq 10 K_M$, alors $v_i = V_M$

- le **seul facteur limitant doit être l'activité de l'enzyme à doser**, la créatine kinase :

\Rightarrow Activité (vitesse) de la G6PDH \gg Activité (vitesse) de l'hexokinase \gg Activité (vitesse) de la CK

- **pH** doit être **optimal pour l'enzyme à doser** (CK) et maintenu **constant** à l'aide d'une solution tampon

- **température standardisée** (30 °C) et maintenue **constante** par l'utilisation d'un bain-marie.

* **Question 2.1.** :

- Méthode utilisée : **méthode cinétique** (et non méthode spectrophotométrique)

- **Principe** :

On suit en continu, par spectrophotométrie, l'apparition du produit ou la disparition du substrat absorbant la lumière de la réaction indicatrice, pendant deux minutes, ici.

Ainsi, on peut tracer le graphe $A = f(t)$ (voir schéma) et vérifier que l'on mesure la vitesse en phase stationnaire, c'est-à-dire une vitesse constante v_i correspondant à la pente de la droite $\Delta A / \Delta t$. Dans les conditions opératoires, cette vitesse v_i est égale à la vitesse maximale V_M . Il est alors possible de calculer catc ($\text{catc} = V_M / V_{\text{sérum}}$).

1^{er} cas : Apparition d'un produit absorbant la lumière
substrat absorbant la lumière (cas de l'exercice NADPH, H^+)
 NADH, H^+ ; voir ALAT, ASAT)

2^{ème} cas : Disparition d'un
(ex. :

*** Question 2-2. :**

On suit l'absorbance à 340 nm car, d'après les spectres d'absorption, seul le NADPH,H⁺ absorbe dans le spectre UV à cette longueur d'onde.

En lisant l'absorbance à 340 nm, on suit uniquement l'apparition du NADPH,H⁺, produit de la réaction indicatrice. L'absorbance augmente donc au cours du temps.

*** Question 2-3. :**

$$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \epsilon \cdot l \cdot \frac{\Delta C}{\Delta t}$$

Apparition d'un produit absorbant la lumière la lumière

(cas de cet exercice)

Or $\frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{\Delta n \text{ (produit)}}{V_{\text{lecture}}} \times \frac{1}{\Delta t}$ positif

$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \epsilon \cdot l \cdot \frac{\Delta n \text{ (produit)}}{V_{\text{lecture}}} \times \frac{1}{\Delta t}$ positif

On sait que $V_M = + \frac{\Delta n \text{ (produit)}}{\Delta t}$ (vitesse d'apparition positive)

positive)

Donc $V_M = \frac{\Delta A}{\Delta t} \times \frac{1}{\epsilon \cdot l} \times V_{\text{lecture}}$ positif

Or $Catc = \frac{V_M}{V_{\text{sérum}}}$

Disparition d'un substrat absorbant

Or $\frac{\Delta C}{\Delta t} = \frac{\Delta n \text{ (substrat)}}{V_{\text{lecture}}} \times \frac{1}{\Delta t}$ négatif

$\frac{\Delta A}{\Delta t} = \epsilon \cdot l \cdot \frac{\Delta n \text{ (substrat)}}{V_{\text{lecture}}} \times \frac{1}{\Delta t}$ négatif

On sait que $V_M = - \frac{\Delta n \text{ (substrat)}}{\Delta t}$ (vitesse de disparition négatif)

Donc $V_M = \frac{\Delta A}{\Delta t} \times \frac{1}{\epsilon \cdot l} \times V_{\text{lecture}}$ négatif

Or $Catc = \frac{V_M}{V_{\text{sérum}}}$

$Catc = \frac{\frac{\Delta A}{\Delta t}}{10^6} \times \frac{1}{\epsilon \cdot l} \times \frac{V_{\text{lecture}}}{V_{\text{sérum}}} \times 10^6$

Unités: $\frac{\mu\text{mol} \cdot \text{min}^{-1}}{1 \text{ l}^{-1}} \times \frac{1}{\text{minute}} \times \frac{\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}}{\text{L} \cdot \text{mol}^{-1}} \times \frac{\text{cm}}{\text{cm}} \times \frac{\text{L}}{\text{L}}$

*** Question 2-4. : Application numérique**

$Catc = 0,02 \times \frac{1}{6,3 \cdot 10^3 \times 1} \times \frac{1150 \cdot 10^{-6}}{50 \cdot 10^{-6}} \times 10^6 = 73 \text{ UI} \cdot \text{L}^{-1} \text{ de sérum}$

ANALYSE DES CAUSES D'ERREURS

Expérimentation	N°1	N°2	N°3
Causes d'erreurs			
<i>Décodage des attentes :</i> Manque d'attention pour certains points de la présentation de T.P.	* Intérêt de la catc de l'ALAT : ++++ * Propriété d'absorption du NADH : +++	Réaction auxiliaire : +	Intérêt de I ₁ : +++
<i>Compréhension des consignes :</i> Difficulté d'interprétation de l'énoncé (vocabulaire)	* Intérêt de la catc de l'ALAT : ++++ * « principe » : ++++++ * « Etablir » : ++++++	Principe de la méthode cinétique et non de la spectrophotométrie : +	/
<i>Complexité propre du contenu :</i> Incompréhension d'une notion	* ↓ absorbance au cours du temps : + * Démonstration de la catc : ++++++	* activité enzymes indicatrices et auxiliaires >> activité enzyme principale : +++++ * principe de la méthode cinétique : + * étapes de la démonstration de la catc : +++++	Démonstration de catc : +++++
<i>Surcharge cognitive :</i> * Confusion de notions * Difficulté de raisonnement * Erreur d'unité	+++++	Interprétation des spectres d'absorption : +++++	I ₁ /I _A : ++++++ Démonstration de la formule littérale de I ₁ : +++++
Erreurs ayant leur origine dans une autre discipline : * Erreurs algébriques * Difficultés d'expression à l'écrit	+	/	+++++
<i>Difficultés de concentration en classe :</i> * Mauvaise lecture de l'énoncé et oubli de données * Valeurs numériques mal	++++ ++++ ++	 +++ ++	 +++++

Savoir-
être

recopiées * Erreur de frappe à la calculatrice		+	
<i>Manque de confiance en soi</i>	+++	/	/
<i>Problème de gestion du temps</i>	+	/	/
<i>Manque de travail :</i> * Présentation de T.P. non apprise * Manque d'entraînement aux exercices	++++ +++++	++	++++

FICHE BILAN

Bilan sur les fiches de suivi des causes d'erreurs	+ / -
<ul style="list-style-type: none"> - Ces fiches m'ont obligé à écouter et/ou lire à attentivement la correction. - Ces fiches m'ont permis de réfléchir sur mes erreurs et de mieux les comprendre. - Ces fiches peuvent m'aider à éviter de reproduire les mêmes erreurs. 	
Bilan sur les différents modes de correction	
<p><i>1- Correction au tableau immédiatement après avoir répondu à la TL (détermination de la catc de l'ASAT) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - j'ai écouté plus attentivement cette correction immédiate que si elle avait eu lieu une semaine plus tard. - j'ai mieux compris mes erreurs car j'ai encore en mémoire les difficultés que j'ai rencontrées. - cette correction m'a plutôt "embrouillé". 	
<p><i>2- Correction écrite commentée au tableau (créatine kinase) :</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - j'ai pu lire attentivement la correction chez moi et la comparer à mes réponses. Ainsi, j'ai mieux compris mes erreurs qu'en classe avec une correction uniquement au tableau. - Pouvoir lire préalablement, chez moi, la correction écrite m'a permis de poser des questions au moment du commentaire oral en classe et de mieux comprendre mes erreurs. 	
<p><i>3- Correction au tableau par un camarade assisté de l'enseignant après lecture de ma copie corrigée (TL Bac blanc):</i></p> <ul style="list-style-type: none"> - Avoir le temps de lire ma copie corrigée me permet de mieux suivre la correction et de pouvoir poser des questions sur mes erreurs. - Le fait que des camarades répondent aux questions au tableau m'aide à comprendre mes erreurs. 	