



Université d'Antananarivo
ECOLE NORMALE SUPERIEURE



**CENTRE D'ETUDES
ET DE RECHERCHES EN PHYSIQUE CHIMIE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU CERTIFICAT
D'APTITUDE PEDAGOGIQUE DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE
(CAPEN)**

N° d'ordre : 407/PC

L'EDD dans le curriculum de chimie en Terminale Scientifique : Initiation à la chimie verte

Soutenu le 22 Décembre 2016

Présenté par :Monsieur ANDRIANJOHANY Nambinintsoa Fiononana Sedera

Rapporteur :Madame RAZAFIMBELO Judith.

Année Universitaire: 2015-2016.



Université d'Antananarivo
ECOLE NORMALE SUPERIEURE



**CENTRE D'ETUDES
ET DE RECHERCHES EN PHYSIQUE CHIMIE**

**MEMOIRE DE FIN D'ETUDES POUR L'OBTENTION DU CERTIFICAT
D'APTITUDE PEDAGOGIQUE DE L'ECOLE NORMALE SUPERIEURE
(CAPEN)**

N° d'ordre : 407/PC.

L'EDD dans le curriculum de chimie en Terminale Scientifique : Initiation à la chimie verte

Soutenu le 22 Décembre 2016

Présenté par : Mr. ANDRIANJOHANY Nambinintsoa Fiononana Sedera

Président du jury : Mr ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer, Professeur Titulaire.

Juges : - Mr. RAJAOMANANA Hery, Maître de conférences.

- Mr. RAMANITRA Narisoa, Enseignant chercheur.

Rapporteur : Mm RAZAFIMBELO Judith, professeur Titulaire.

Année Universitaire: 2015-2016.

REMERCIEMENTS :

En tout premier lieu, je tiens à remercier Dieu Tout Puissant, de sa miséricorde, de sa bénédiction ainsi que la bonne santé, la force et le courage qu'il nous a donnés dans la réalisation de ce présent mémoire.

Je tiens également à adresser mes vifs remerciements à toutes les personnes qui ont apporté leur soutien pour l'élaboration de ce mémoire, entre autres :

- Monsieur :ANDRIANARIMANANA Jean Claude Omer, Président de jury Président de jury ;
 - Membres de jury : -RAJAOMANANA Hery, Maître de conférences,
- RAMANITRA Narisoa, Enseignant chercheur.
- Nos sincères remerciements s'adressent également à notre encadreur pédagogique Madame RAZAFIMBELO Judith, Professeur Titulaire, qui nous a encadré et conseillé pour l'élaboration du présent mémoire. Nous tenons également à lui prouver toute notre profonde gratitude et notre entière reconnaissance pour tout le temps qu'elle nous consacre tout au long de l'élaboration de ce mémoire. Ses conseils, son support, ses encouragements, sa patience et, principalement sa confiance en nous, nous ont aidés énormément à traverser cette étape merveilleuse de notre vie académique et personnelle.
- je tiens aussi à présenter mes vifs et sincères remerciements à toute la direction et aux enseignants de l'Ecole Normale Supérieure qui m'a aidé et assisté durant mes études et pendant la réalisation de ce mémoire.
- j'attribue également mes profondes reconnaissance à ma Mère pour son soutien et les sacrifices qu'elle a fait durant toutes mes années d'études et jusqu'à l'aboutissement de ce travail.
- Je remercie également tous les amis ainsi que mes camarades de classe qui m'ont aidé directement et indirectement à la réalisation de ce mémoire.

LISTE DES FIGURES :

| | |
|---|----|
| Figure 1: les disciplines scolaires et les trois piliers du DD..... | 47 |
| Figure 2: Les 12 principes de la chimie verte : | 76 |

LISTE DES TABLEAUX :

| | |
|--|----|
| Tableau 1: Tableau montrant la place de l'éducation à l'environnement dans le programme traité chaque année du cycle secondaire 2 (2 nd e, 1 ^{ère} , terminale). | 44 |
| Tableau 2 : Tableau comparatif des thèmes traités au collège et au lycée qui met en évidence les points communs | 45 |

TABLE DES MATIERES

| | |
|--|-----------|
| REMERCIEMENTS : | i |
| LISTE DES FIGURES : | ii |
| LISTE DES TABLEAUX : | ii |
| INTRODUCTION GENERALE: | 1 |
| PARTIE I REPERES THEORIQUES | 4 |
| Chapitre I. EDUCATION AU DEVELOPPEMENT DURABLE (EDD)..... | 4 |
| I. Quelques concepts autours de l'EDD : | 4 |
| I.1. Développement durable : | 4 |
| I.2. Quelles sont les principes du développement durable ? | 6 |
| I.3. La durabilité défend aussi des valeurs : | 7 |
| II. Education au développement durable (EDD):..... | 8 |
| II.1. Définition :..... | 8 |
| II.2 Finalités, objectifs et caractéristiques de l'EDD : | 9 |
| II.2.1. Finalités de l'EDD : | 9 |
| II.2.2. Les objectifs de l'EDD : | 9 |
| II.2.3. Caractéristiques de l'EDD : | 10 |
| II.3. Intérêt d'instaurer une éducation qui repose sur les principes et valeurs de la durabilité : | 10 |
| II.4. L'EDD et les cinq piliers de l'éducation : | 12 |
| II.5. EDD et EE: | 12 |
| II.5.1. Les différences entre EE et EDD:..... | 13 |
| II.5.2. Point communs : | 13 |
| Chapitre II. COMMENT REORIENTER L'EDUCATION VERS L'EDD ?..... | 15 |
| I. Analyse du curriculum : | 15 |
| I.1. Créer un système de codification : | 16 |

| | |
|---|-----------|
| I.2. Discussions : | 16 |
| I.3. Comment combler les lacunes ? | 16 |
| II. Comment introduire l'EDD dans le programme scolaire existant ? | 17 |
| III. Comment l'appliquer pendant l'enseignement : | 17 |
| III.1. Méthodes d'enseignement et d'apprentissage de l'EDD : | 18 |
| III.2. Evaluation et suivi : | 19 |
| Chapitre III. CHIMIE VERTE | 20 |
| I. Définition : | 20 |
| II. Principes : | 21 |
| III. Chimie verte outil majeur du développement durable : | 22 |
| Comment la chimie verte œuvre pour le développement durable ? | 22 |
| III.1. La gestion des matières premières : | 24 |
| III.1.1. Bioproduits et chimie du végétal : | 25 |
| III.1.2. Des algues dans les raffineries : | 25 |
| III.2. Les produits chimiques : les solvants et les auxiliaires de réactions | 26 |
| Les solvants organiques, omniprésents, problématiques : | 26 |
| III.3. L'énergie apportée à la réaction chimique : | 28 |
| III.4. Gestion des déchets recyclables et production de déchets ultimes : | 28 |
| IV. La chimie verte et l'enseignement : | 29 |
| IV.1. La chimie verte, mérite-t-elle une place dans l'enseignement ? | 29 |
| IV.2. La chimie verte en classe : | 30 |
| PARTIE II : POLITIQUE ET STRATEGIE EDUCATIVE sur L'EDD.et ANALYSE DU CURRICULUM SCOLAIRE MALGACHE. | 31 |
| Chapitre I : POLITIQUE ET STRATEGIE EDUCATIVE SUR L'EDD : | 31 |
| I. MAP : Plan d' Action à Madagascar. | 31 |
| I.1. Le MAP et les OMD : | 31 |
| I.2. Les engagements du MAP : | 32 |

| | |
|--|-----------|
| II. Charte de l'environnement Malagasy actualisée : | 35 |
| III. Politique nationale de l'éducation relative à l'environnement pour le développement durable (PErEDD) : | 37 |
| Chapitre II. ANALYSE DU CURRICULUM SCOLAIRE MALGACHE | 39 |
| I. Définition du curriculum: | 39 |
| II. Les différents niveaux de curriculum : | 40 |
| II.1. Le curriculum formel : | 40 |
| II.2. Le curriculum réel : | 40 |
| II.3. Le curriculum potentiel : | 40 |
| III. Le curriculum formel : | 40 |
| III.1. Caractéristique du curriculum formel Malgache: | 40 |
| III.2. Elaboration du Curriculum Formel : | 41 |
| III.3. Les raisons de changement du curriculum : | 42 |
| Chapitre III : PROGRAMME SCOLAIRE MALGACHE ET ENSEIGNEMENT DE SCIENCES PHYSIQUES FACE A L'EDD | 43 |
| I. Situation du programme scolaire malgache face à l'EDD : | 43 |
| II. Place des sciences physiques et chimiques dans l'EDD : | 46 |
| PARTIE III : INTEGRATION DE LA CHIMIE VERTE DANS LE PROGRAMME DES SCIENCES PHYSIQUES NIVEAU TERMINALE S. | 49 |
| I. Entretien : | 49 |
| I.1. Méthodologie : | 49 |
| I.2. Résultat de l'entretien : | 50 |
| I.2.1. Les connaissances des enseignants à propos de la chimie verte : | 50 |
| I.2.2. Avis des enseignants sur la proposition d'introduire ce thème dans le curriculum de la classe de terminale S. | 51 |
| I.2.3. Les éléments facilitateurs et les problèmes potentiels liés à l'introduction de ce concept dans le curriculum de la classe de terminales S. | 52 |

| | |
|---|-----------|
| I.2.4. Forces et faiblesse du système scolaire face à l'intégration de l'EDD dans les écoles du 2 nd cycle du niveau secondaire..... | 52 |
| II. Elaboration du fiche pédagogique : | 54 |
| CONCLUSION..... | 86 |
| BIBLIOGRAPHIE | 89 |
| ANNEXES..... | i |
| RESUME : | |

INTRODUCTION GENERALE:

La chimie est avant tout la science de la création des molécules et des matériaux. Comme le disait Marcellin Berthelot (1827-1907) cette faculté créatrice, semblable à l'art lui-même, la distingue essentiellement des autres sciences. C'est donc elle qui façonne le monde concret dans lequel nous vivons.

La chimie a eu, et a toujours une influence considérable sur la vie de l'humanité. Dans l'antiquité, des « procédés chimiques » ont servi à isoler des produits naturels d'usage courant comme le cuivre, le bronze, etc. Au 19^e et 20^{ème} siècle, de nombreux modes de transformation ont été mis au point pour synthétiser de nouvelles substances se substituant aux matériaux traditionnels (bois, et fer) par les matériaux plastiques par exemple.

Ces dernières années, les progrès de la chimie ont été spectaculaires. Cependant, ils ont conduit à des situations délicates, notamment la pollution de l'air, de l'eau, du sol, réchauffement climatique, accident industriel chimique, etc, situations qui menacent la santé de l'homme, pire encore, détruisent la nature et même l'environnement dans lequel il vit.

Par ces faits, la société a peur de la chimie. Conscient de ces critiques, en vue d'améliorer l'image de la chimie et de contribuer aux défis auxquels la société d'aujourd'hui est confrontée, les chimistes ainsi que plusieurs organismes internationaux ont décidé d'agir. En conséquence, nombreuses décisions et solutions ont été entreprises :

D'abord en 1972, suite au sommet sur l'homme et l'environnement qui s'est tenu à Stockholm, les Nations Unies prennent conscience de l'impact des activités humaines sur l'environnement. En 1987, après une consultation internationale, la commission mondiale sur l'environnement et le développement (« commission de Brundtland ») publie son rapport : « Notre avenir à tous ». Elle définit et popularise le concept de développement durable. Le développement durable est un concept qui fournit un modèle de réflexion sur l'avenir qui met en balance les conditions environnementales, sociétales et économiques dans une perspective de développement et d'amélioration de la qualité de vie. La « **durabilité** » est semblable aux objectifs à long terme afin d'obtenir un monde meilleur loin des menaces climatiques, loin de la pauvreté, solidaire et héritable pour les générations futures. (RAKOTOMALALA J.T. 2015).

Ensuite depuis 1992, l'Education au Développement Durable a été proclamée. Mise en exergue par le sommet de la Terre tenue à Rio en 1992, la déclaration de Rio dans le Chapitre 36 de l'agenda 21 accorde une place importante à l'éducation et la formation pour renforcer les capacités de la société à progresser vers un monde plus viable.

L'Education au Développement Durable devra permettre aux enfants, aux jeunes et aux adultes d'acquérir les compétences pour comprendre de manière critique le monde dans lequel ils vivent, de trouver leur place dans la société, de gagner l'autonomie pour endosser les responsabilités des enjeux complexes de notre temps. (SENN. 2014)

Dans le domaine de la chimie, « la chimie verte » a été créée pour devenir un outil majeur du Développement Durable, mais surtout un nouvel **outil pédagogique** pour former les futures chimistes.

Face à cette situation, Madagascar a ratifié, en 1996, la convention internationale de Rio de Janeiro (juin 1992). Elle s'est aussi engagée à suivre les déclarations de Johannesburg (septembre 2002) sur le développement durable. Ensuite, elle a participé à la Décennie des Nations Unies pour l'Education au Développement Durable (DNUEDD) pour la mise en œuvre de l'EDD dans le pays depuis 2008.

C'est dans cet optique de la pertinence d'éduquer la population au développement durable pour faire face aux défis du millénaire (comme la lutte contre la pauvreté, le changement climatique, le maintien des services des écosystèmes, l'épuisement des ressources fossiles conventionnelles, la pollution planétaire, etc.), et dans la nécessité d'investir dans l'EDD dans notre pays, que nous voudrions à travers cette étude jeter un regard.

Est-ce que la politique adoptée par le gouvernement dans le domaine de l'éducation a entraîné un changement d'attitude, de comportement ou des connaissances des bonnes pratiques chez les élèves ? Quelles stratégies pourrait-on proposer pour intégrer l'EDD dans l'enseignement de science physique et chimique ? L'enseignement de la chimie verte donnera-t-elle les connaissances et les compétences nécessaires aux élèves pour l'utilisation et les choix des produits chimiques ?

Dans le cadre de ce mémoire de CAPEN, en tant que futur enseignant des sciences physiques, il nous semble important, voire nécessaire, d'apporter notre contribution à

l'amélioration de l'enseignement de cette discipline. C'est pourquoi nous avons choisi ce travail intitulé « Essai d'introduction de l'EDD dans le curriculum de chimie niveau terminale S à travers le concept de « chimie verte ».

La méthodologie que nous avons adoptée pour notre étude se scinde en trois (3) parties :

La première partie aborde les considérations théoriques, sur le concept de développement durable et d'EDD qui constituent à présenter leurs fondements, les finalités et les objectifs auxquels ils se rattachent, et enfin des considérations théoriques sur la chimie verte pour comprendre ce concept.

La deuxième partie nous conduit à l'analyse des curriculums scolaires ainsi que des politiques et stratégies de l'Etat face à l'EDD.

La troisième partie terminera le travail par une application pédagogique, en élaborant une fiche pédagogique concernant la chimie verte pour la classe de terminale S. L'élaboration de cette fiche pédagogique est précédée par un entretien auprès d'enseignant du lycée Moderne Ampéfiloha. L'objectif de cet entretien est de connaître leur avis sur le projet d'introduction du concept de chimie verte. Mais aussi de s'informer et de discuter sur les moyens qu'ils pensent appropriés pour traiter un tel concept.

PARTIE I REPERES THEORIQUES

Chapitre I. EDUCATION AU DEVELOPPEMENT DURABLE (EDD)

I. Quelques concepts autour de l'EDD :

I.1. Développement durable :

Le principal enjeu du monde d'aujourd'hui est de savoir comment associer ¹:

- Protection de l'environnement.
- Equité sociale.
- Efficacité économique.

Une réponse : le développement durable.

Le concept de développement durable vise à réconcilier le développement économique et social, la protection de l'environnement et la conservation des ressources naturelles.

Il s'articule autour de trois grands vecteurs interdépendants et complémentaires :

- Un vecteur environnemental, qui cherche à préserver l'intégrité écologique, ainsi qu'améliorer et valoriser l'environnement et les ressources naturelles sur le long terme.
- Un vecteur social, qui tend à satisfaire les besoins humains et à répondre à des objectifs de cohésion et de justice sociale entre les nations, les individus et les générations. Il englobe notamment les questions de santé, de logement, de consommation, d'éducation, de l'emploi,...
- Un vecteur économique, qui vise des objectifs de développement et d'efficacité économiques.

L'interdépendance et la complémentarité des trois vecteurs du développement durable sont représentées schématiquement par la figure ci-dessous :

¹BREGON, J.(2010).

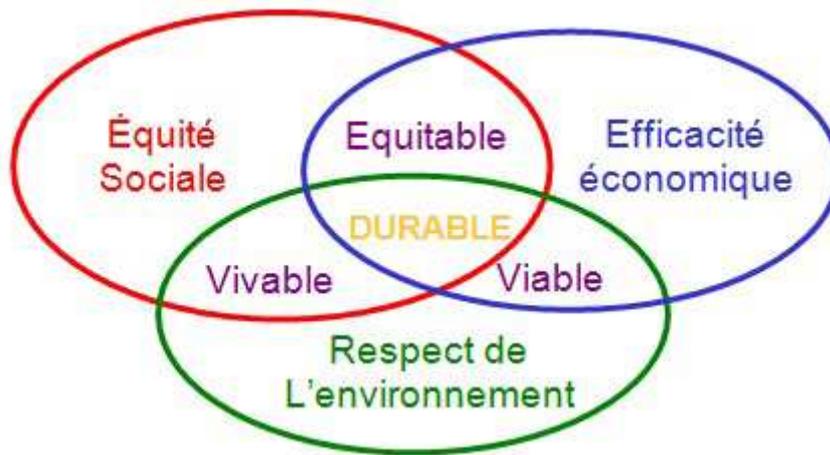


Figure 1: les trois sphères du développement durable

Source : [http:// www.sebach.fr/userfiles/fotoeco02.jpg](http://www.sebach.fr/userfiles/fotoeco02.jpg) (consulté le 19-12-16).

Ce schéma illustre la trilogie « Environnement – Economie – Social » du développement durable.

Le développement durable se situe dans la zone de convergence de trois sphères : l'économie, le social et l'environnement. L'intersection de ces trois dimensions constitue la condition nécessaire du concept. La présence de deux dimensions n'est pas suffisante, l'absence d'une des dimensions change la nature du développement mis en œuvre. (RAKOTOMALALA J.T, 2015)

A l'intersection du social et de l'environnement, le *développement* n'est pas durable, mais *supportable*. Il se réalise dans le respect du milieu biophysique et prend en compte le contexte social dans lequel il s'inscrit.

A l'intersection de l'économie et de l'environnement, le *développement* est *réalisable*. Il respecte le milieu biophysique et favorise la croissance économique.

Enfin, le développement « éco » résulte du croisement du social et de l'économie. Il garantit une croissance économique et le respect de conditions sociales favorables à tous.

Donc pour qu'il y ait développement durable, il faut que les trois dimensions : économiques, sociales et environnementales se conjuguent et non se juxtaposent.

Le développement durable a été défini en 1987 par le Rapport Brundtland comme un développement capable de « répondre aux besoins du présent sans compromettre la capacité des générations futures de répondre aux leurs ».

Afin d'envisager un développement dans un cadre de vie meilleure, des programmes de développement durable ont été créés par les Nations Unies. D'abord, depuis 2000 jusqu'en 2015, le programme de développement durable se traduit en huit objectifs du millénaire pour le développement (OMD). Le 25 septembre 2015, un nouvel ensemble d'objectifs mondiaux appelés *objectif du développement durable* (ODD) a été adopté. (MINISTÈRE DE L'ÉCOLOGIE DU DÉVELOPPEMENT DURABLE ET DE L'ÉNERGIE FRANCE)

I.2. Objectif du développement durable (ODD) :

L'Objectif du développement durable est un nouveau programme universel, officiellement entré en vigueur le 01 décembre 2016, à l'expiration des objectifs du millénaire pour le développement, il a pour but d'éradiquer la pauvreté, de protéger la planète et de garantir la prospérité pour tous, il durera jusqu'en 2030.

Les objectifs du développement durable est une nouvelle feuille de route sur le développement durable, ils sont au nombre de 17, leur champ ainsi que leur ambition sont considérablement renforcés par rapport aux objectifs du millénaire pour le développement. (Voir annexe 5 : les objectifs du développement durable).

De plus, des principes et des valeurs pour guider nos actions s'ajoutent à ces objectifs.

I.2. Quelles sont les principes du développement durable ?

En vue d'un monde plus viable, des règles d'actions ou de conduites ont été établies, tout en prenant en compte les trois sphères de la durabilité : société, environnement, économie.

Les idéaux et principes de la durabilité englobent, notamment, des concepts généraux comme l'équité (reconnaissance des droits de chacun) entre les générations, l'égalité entre les sexes, la paix, la tolérance, la lutte contre la pauvreté, la préservation et la restauration de l'environnement, la conservation des ressources naturelles et la justice sociale.

La Déclaration de Rio contient 27 principes, dont voici quelques-uns relatifs à notre mémoire :

- ❖ les êtres humains ont droit à une vie saine et productive en harmonie avec la nature.

- ❖ le droit au développement doit être réalisé de façon à satisfaire équitablement les besoins relatifs au développement et à l'environnement des générations présentes et futures.
- ❖ l'élimination de la pauvreté et la réduction des différences de niveaux de vie dans les différentes parties du monde sont une condition indispensable du développement durable.
- ❖ la protection de l'environnement doit faire partie intégrante du processus de développement et ne peut être considérée isolément.
- ❖ afin de parvenir à un développement durable et à une meilleure qualité de vie pour tous les peuples, les États devraient réduire et éliminer les modes de production et de consommation non viables et promouvoir des politiques démographiques appropriées.

Ces principes peuvent guider les efforts des gouvernements, des communautés et des organisations pour fixer des objectifs de durabilité et créer des programmes permettant de les atteindre.

Les éducateurs, les dirigeants et les citoyens doivent comprendre que le développement durable est un concept en évolution et que cette liste d'optiques de la durabilité peut s'étoffer et se modifier.

I.3. La durabilité défend aussi des valeurs :

Toutes les actions humaines obéissent à des valeurs des plus petites (nos décisions personnelles) aux plus grandes (la législation d'un pays). Les Nations Unies, par exemple se sont posées en défenseur des valeurs liées à la dignité, aux libertés fondamentales et aux droits de l'être humain, à l'équité et à la protection de l'environnement.

Le développement durable étend la portée de ces valeurs de la génération présente aux générations à venir. Elle défend la biodiversité, sa conservation et la diversité humaine, elle lutte contre les inégalités, les exclusions, la pauvreté, mais elle prône le bien-être de chacun (santé, ressource, paix, etc), la solidarité avec les générations futures et le respect de notre planète. (UNESCO, 2012)

Dans le domaine économique, elle prône l'autosuffisance pour tous et l'égalité des chances. **La Charte de la Terre**, est une référence pour connaître les valeurs relatives au développement durable, déclaration de principes éthiques fondamentaux pour l'instauration d'une société planétaire juste, viable et pacifique.

En somme, le développement durable traite différents problèmes, et cela est d'ordre environnemental, sociétal, économique. Par ses principes et ses optiques, et ces valeurs, il indique les objectifs à atteindre, le plan d'action à suivre pour les gouvernements, les organisations civiles, et surtout les éducateurs afin de protéger la terre où nous vivons, l'eau que nous buvons, l'air que nous respirons, les ressources que nous exploitons, et de relever des défis comme le changement climatique ou la perte de biodiversité.

II. Education au développement durable (EDD):

Pour redorer l'image négative de la chimie auprès des élèves et les amener à aimer la chimie, mais surtout faire face aux défis du millénaire, la réorientation de l'éducation dans le sens du Développement Durable pour le programme de chimie, notamment en TS à Madagascar s'impose.

II.1. Définition :

L'éducation est l'arme la plus puissante pour changer le monde. (Nelson Mandela, 2005)

L'éducation est la clé du développement durable. (UNESCO, 2012). C'est l'enseignement dispensé aujourd'hui qui décidera de la capacité des dirigeants et des citoyens de demain à trouver les solutions et à ouvrir la voie vers un avenir meilleur et plus durable.

L'Education au Développement Durable, également appelée « éducation à la durabilité » est donc : « un concept dynamique qui repose sur une nouvelle vision mondiale de l'éducation capable de rendre les individus de tout âge suffisamment responsable pour pouvoir assurer par eux-mêmes l'édification d'un avenir viable et agréable » (UNESCO 2012).

Elle s'appuie sur les idéaux, principes et valeurs du développement durable, c'est-à-dire elle a pour objectif d'enseigner au futur citoyen les moyens de faire des choix en menant des raisonnements intégrant les questions complexes du développement durable. Ces raisonnements permettront aux citoyens de prendre des décisions, d'agir de manière lucide et responsable, tant dans sa vie personnelle que dans la sphère publique.

L'EDD ne se contente donc pas d'enseigner des connaissances et des principes en rapport avec la durabilité, elle est, au plus large sens du terme, une éducation mise au service du changement social dans le but de bâtir des sociétés plus durables.

II.2 Finalités, objectifs et caractéristiques de l'EDD :

II.2.1. Finalités de l'EDD :

L'EDD préconise de développer la conscience de chaque individu pour l'acquisition de savoir-faire et de savoir être, qui vise à instaurer un avenir plus viable.

II.2.2. Les objectifs de l'EDD :

L'EDD poursuit quatre grands objectifs :

✚ Promouvoir et améliorer l'éducation de base :

Accéder à l'école et y rester en bénéficiant d'une éducation de base de qualité, que l'on soit garçon ou fille, sont fondamentaux. L'éducation de base devrait permettre d'acquérir des connaissances, des compétences, des valeurs et des attitudes qui favorisent les moyens d'existence durable, et d'aider les citoyens à mener une existence viable.

✚ Réorienter les programmes d'éducation existants dans l'optique du développement durable :

Pour réorienter l'éducation, il est essentiel de réaménager l'enseignement, de la maternelle à l'université. Il faut pour cela, repenser le contenu, les méthodes et les modes d'évaluation de l'enseignement, en prenant la durabilité pour thème central.

Les élèves d'aujourd'hui doivent être capables de résoudre les problèmes de demain, et donc de cultiver leur créativité et leur capacité d'analyse et de résolution des problèmes.

✚ Informer et sensibiliser le public à la notion de durabilité :

Atteindre les objectifs du développement durable demande des citoyens qui savent ce que c'est et comment agir quotidiennement pour atteindre les objectifs de durabilité au niveau communautaire et national.

Cette citoyenneté éclairée passe par une éducation communautaire à grande échelle, ainsi que des médias responsables, attachés à promouvoir l'apprentissage permanent d'une population informée et active.

✚ Former l'ensemble de la population active :

Tous les secteurs de la société peuvent contribuer à la durabilité, au niveau local, régional et national. Les employés du secteur public et privé doivent recevoir tout au long de leur vie une formation technique et professionnelle intégrant les pratiques et les principes de

la durabilité. Cela a pour but que chacun ait accès aux connaissances et compétences nécessaires pour prendre des décisions et pour travailler de façon durable.

Pour relever l'ensemble des quatre défis de l'EDD, il convient donc d'intervenir auprès des secteurs formels, non formels et informels de la communauté éducative.

L'EDD vise à instaurer des échanges cohérents entre l'éducation et les apprenants, mais aussi la sensibilisation du public et sa formation allant dans les sens du développement durable.

II.2.3. Caractéristiques de l'EDD ²:

L'Education au Développement Durable :

- repose sur les principes et valeurs de la durabilité, c'est-à-dire qu'elle embrasse les trois sphères de la durabilité : environnement, société, économie.
- fait appel à un éventail de techniques pédagogiques basées sur l'apprentissage participatif et la réflexion.
- est localement pertinente et culturellement appropriée.
- est une modèle qui oriente et transforme les matières principales (ex : physique-chimie) de façon que toutes ces dernières puissent contribuer à un avenir durable. Elle n'est pas une matière adjectivale qui concourt pour une place au sein des programmes de secondaire.
- ne relève pas d'une discipline unique, toute discipline, tout enseignant et toute administration peuvent contribuer à l'EDD.

Ces caractéristiques permettent d'établir la synergie entre les différentes disciplines éducatives afin d'œuvrer pour transmettre les connaissances, les problèmes, les compétences, les optiques et les valeurs du Développement Durable.

II.3. Intérêt d'instaurer une éducation qui repose sur les principes et valeurs de la durabilité :

L'éducation contribue au développement durable et à la transformation de la société. Mais le contraire est aussi vrai. La durabilité améliore l'éducation et peut même la transformer.

²UNESCO. (2012). *Ouvrage de référence sur l'EDD*.

La durabilité donne à l'éducation de nouveaux objectifs :

Elèves, parents, enseignants, administrations ont tous une idée différente des objectifs, des visées de l'éducation.

Les enseignants déclarent souvent que l'objectif de l'enseignement est d'aider les élèves à s'épanouir pleinement. En réalité, les enseignants sont aussi sommés de préparer les élèves à réussir leurs examens de fin d'année pour qu'ils passent dans le niveau supérieur.

Les parents espèrent souvent que l'école préparera leurs enfants à des carrières qui garantiront la sécurité économique de leur famille.

Les hommes politiques estiment que l'objectif de l'éducation est de former les élèves pour assurer la prospérité économique.

Une éducation centrée sur la durabilité reformule les objectifs de l'éducation. La durabilité apporte une vision commune des objectifs de l'éducation, qui est de construire un avenir durable sur le plan environnemental, social et économique.

Plus encore, une tâche cruciale de l'éducation d'aujourd'hui consiste à préparer les élèves à occuper les « **emplois verts** » de demain.

La durabilité améliore la pertinence des programmes scolaires :

Du fait de la déconnexion des contenus des programmes et de la réalité, l'enthousiasme des élèves diminue entraînant les abandonsscolaires. De plus, pas convaincus de la pertinence de l'éducation par rapport à l'existence qu'ils mènent, les parents décident souvent que leurs enfants doivent abandonner l'école.

Une éducation réorientée vers la durabilité s'intéresse aux problèmes réels de la communauté et cherche à les résoudre, améliorant ainsi la pertinence des programmes et l'interaction des contenus à la vie réelle, répondant ainsi aux besoins des apprenants.

La durabilité permet l'illustration concrète de concept abstrait :

On reproche souvent à l'éducation d'être théorique est abstraite. Le thème de la durabilité et les problèmes auxquels sont confrontées les communautés locales offrent d'excellentes illustrations des concepts abstraits contenus dans les programmes scolaires.

II.4. L'EDD et les cinq piliers de l'éducation³:

L'éducation, l'enseignement ne se font pas de la même façon que l'on soit en ville ou à la campagne. Mais malgré leurs différences, tous les programmes éducatifs orientés vers une éducation pour le développement durables'appuient sur cinq types d'apprentissage fondamentaux⁴:

- **Apprendre à savoir**, afin d'acquérir le goût d'apprendre tout au long de la vie et de comprendre le monde ;
- **Apprendre à faire**, afin de pouvoir réagir face à un grand nombre de situations, et de savoir agir tout en sachant réfléchir ;
- **Apprendre à être**, afin de mieux développer sa personnalité et de pouvoir agir avec plus d'autonomie, de jugement et de sens de responsabilité ;
- **Apprendre à vivre ensemble** ; afin de mieux comprendre les autres et leurs histoires, leurs traditions pour participer à toutes les activités humaines en coopération avec les autres ;
- **Apprendre à se transformer soi-même et à transformer la société** ; afin de faire progresser le respect de l'environnement ainsi que les soucis de la solidarité sociale et d'un monde tenant compte de la disparité entre les sexes et sans discrimination.

II.5. EDD et EE:

Beaucoup se demandent ce qui distingue l'EDD des différentes éducations adjectivales, notamment la plus mentionnée, l'éducation à l'environnement (EE).

EDD est une discipline proche de l'EE, les enseignants de l'EE ont été les premiers à adhérer à l'EDD. Les auteurs du chapitre 36 de l'Agenda 21⁵, se sont inspirés des enseignements de l'EE.

On peut dire que l'EDD trouve en partie son origine dans l'éducation à l'environnement.

D'après les notes fournies par «les prismes de l'EDD⁶», lorsqu'on compare le document fondateur de l'EE (la déclaration de Tbilissi de la conférence intergouvernementale

³UNESCO. (2012). *Ouvrage de référence sur l'EDD*.

⁴Education pour le développement durable à Madagascar : document de référence, 2013

⁵Agenda 21 est le document officiel de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement, appelée aussi « sommet de la terre » qui s'est tenue à Rio de Janeiro en 1992, il s'agit d'un plan d'action globale destiné à être mise en œuvre au niveau mondial, national et local par les organisations des Nations Unies, les gouvernements et les groupes influents.

⁶ « Les Prismes de l'EDD » sont les ouvrages de références pour comprendre et intégrer l'EDD dans l'éducation.

sur l'éducation relative à l'environnement) et celui de l'EDD (le chapitre d'Agenda 21), on note une similitude, mais aussi de nombreuses différences entre les deux.

II.5.1. Les différences entre EE et EDD:

L'Agenda 21 souligne l'importance de l'éducation de base pour notre progression vers un monde durable, tout en insistant sur ses composantes socioéconomiques.

La déclaration de Tbilissi énumère les objectifs de l'EE comme étant la prise de conscience, connaissance, comportements et valeurs, participation, dans le cadre de protection de l'environnement.

Principales différences :

- L'EDD aborde tous les sphères du développement durable- environnement, société, économie dont la culture est une dimension sous-jacente. L'EE à une dimension plus environnementale.
- L'EDD poursuit quatre objectifs : (1) promouvoir et améliorer l'éducation de base ; (2) réorienter les programmes d'éducation existants ; (3) informer et sensibiliser le public ; (4) former la population active. L'EE se concentre sur les mêmes objectifs numérotés(2) et (3) de l'EDD.

II.5.2. Point communs :

Il existe évidemment des similitudes dans les pratiques de l'EDD et de l'EE en vigueur. Toutes les deux ont une composante environnementale.

Elles prônent un apprentissage participatif et des pédagogies stimulant les capacités des élèves et encourageant la prise de décision et la formulation de questions.

Toutes les deux enseignent des valeurs.

Bien qu'il y ait des similitudes entre l'EE et l'EDD, elles ne sont pas assez nombreuses pour permettre d'affirmer qu'il s'agit d'une seule et même concept.

En somme, nous savons que l'EDD n'est pas une éducation adjectivale, et qu'elle repose sur les principes et valeurs du Développement Durable. Et pour construire un monde plus durable, nous devons repenser les objectifs de nos système éducatifs ainsi que les contenus et les méthodes et les modes d'évaluation de l'enseignement.

Réorienter l'enseignement primaire et secondaire dans le sens de la durabilité nous aidera à construire un monde environnementalement robuste, socialement équitable et économiquement juste. (UNESCO, 2012).

L'Education au le Développement Durable (EDD) constitue notre espoir pour cet avenir-là.

Chapitre II. COMMENT REORIENTER L'EDUCATION VERS L'EDD ?

L'éducation tient une place importante pour atteindre les objectifs du DD. Conscient de cette importance élevée de l'éducation dans la perspective du développement durable, en décembre 2002, l'Assemblée générale des Nations Unies proclame, l'année 2005-2014 comme la Décennie des Nations Unies pour l'éducation au service du développement durable ou DNUEDD.

Pour cela, plusieurs outils permettant de réorienter le curriculum dans le sens du développement durable ont été créés. Parmi eux il y a « les Prismes de l'EDD ».

En se référant à cet ouvrage, la réorientation de l'éducation vers la durabilité passe d'abord par l'examen minutieux des valeurs présentes sous forme implicite et explicite du développement durable dans les programmes scolaires.

I. Analyse du curriculum :

L'analyse du curriculum consiste en une recherche de concept se rapportant aux 3 sphères du développement durable (environnement, société, économie), ainsi que les thèmes de durabilité d'importance communautaire ou nationale dans les programmes scolaires officiels. Voici quelques exemples de thème lié au développement durable d'importance communautaire ou nationale : biodiversité, changement climatique, lutte contre la pauvreté, égalité des sexes, promotion de la santé, agriculture durable, exploitation forestière durable, paix et sécurité humaine. (UNESCO, 2012).

Pour analyser la place de la durabilité dans les programmes, il convient de classer chacun de ses éléments sous l'une des trois grandes catégories suivantes :

- Concept du développement durable
- Concept de base
- Concept sans rapport avec le développement durable.

L'étape suivante consiste à parcourir l'intégralité du programme et relever les différents éléments à l'aide du *système de codification*.

I.1. Créer un système de codification :

L'analyse curriculaire passe nécessairement par la création et l'application cohérente d'un système de codification, permettant de repérer les composantes du programme relevant du développement durable.

On peut l'effectuer simplement à l'aide de crayon de couleur, par exemple :

- Vert pour l'environnement,
- Bleu pour la société,
- Rouge pour l'économie,

Puis une couleur aux différents thèmes choisis : *rouge pour la lutte contre la pauvreté* par exemple.

On souligne ensuite *en pointillés les concepts de base*, et d'un *trait continu les concepts du développement durable*. On peut également avoir recours à un logiciel de marquage des textes comme office Word par exemple.

I.2. Discussions :

Une fois le contenu du programme codifié, il y a lieu de répondre aux questions suivantes :

- ✚ Quelle place est accordée aux connaissances, compétences, valeurs et perspectives relatives au développement durable dans le programme officiel ?
- ✚ Comment enseigner explicitement comme tels les éléments du programme étiquetés en tant que concepts du développement durable ?
- ✚ Comment intégrer les concepts du développement durable aux différentes matières, de façon à faire comprendre aux élèves le paradigme de durabilité et les voies conduisant à un avenir plus durable ?

I.3. Comment combler les lacunes ?

Il peut arriver que le programme ne contienne aucune mention expresse sur la durabilité. L'analyse des lacunes est un élément clé de réorientation des programmes.

Cela en se référant toujours à la question : l'EDD prévoit l'enseignement des connaissances, des compétences, des valeurs, des modes de pensée et des sujets relatifs au développement durable ?

II. Comment introduire l'EDD dans le programme scolaire existant ?

L'intégration du concept de la durabilité devrait se faire de manière naturelle. Il ne sera pas nécessaire de « thématiser l'EDD ». ⁷

Toutefois, les connaissances relatives à la durabilité doivent figurer explicitement et intentionnellement dans les programmes d'enseignements, afin que le développement durable soit enseigné dans sa globalité. ⁸

Donc les institutions éducatives, toutes les disciplines éducatives doivent corroborer pour instaurer une politique éducative malgache qui met l'accent sur différentes valeurs, méthodes d'apprentissages et enseignement qui sous-tendent la durabilité. ⁹

III. Comment l'appliquer pendant l'enseignement :

Etant multidisciplinaire et transdisciplinaire, l'EDD ne fait jamais appel à une forme d'apprentissage unique. Elle oblige à combiner plusieurs formes différentes, en tenant compte des caractéristiques du groupe d'apprenants (âges, connaissances, intérêts, capacités), du contexte d'apprentissage (contexte pédagogique, traditions culturelles, climat politique) et des ressources disponibles (compétences des enseignants, matériels pédagogiques, TIC, moyens financiers). (Rapport DNUEDD, 2012).

Il n'y a pas de méthode spécifique pour l'EDD, mais il a lieu de reprendre les différentes méthodes et des approches pédagogiques qui existent et déjà utilisées, mais la manière de les utiliser devrait être améliorée pour avoir les résultats escomptés.

Toutefois, l'erreur à ne pas commettre c'est de montrer une distorsion entre ce que l'on enseigne aux élèves et ce qui se passe autour. Autrement dit, les comportements, les actions, les modes de vie des enseignants, des personnels non enseignants, c'est-à-dire de tout l'établissement doivent être guidés par les principes et valeurs de la durabilité.

⁷Éducation pour le Développement durable à Madagascar, 2013

⁸UNESCO prisme EDD, 2010

⁹Education pour le Développement Durable à Madagascar, 2013.

III.1. Méthodes d'enseignement et d'apprentissage de l'EDD :

Les méthodes d'enseignement et d'apprentissage de l'EDD doivent respecter le programme scolaire en vigueur et ses objectifs, mais surtout elle doit être **centrée sur l'élève** pour assurer son développement personnel et son épanouissement afin de promouvoir l'apprentissage tout au long de sa vie.

Comment faire¹⁰ ?

L'ouvrage Education pour le Développement Durable à Madagascar, préconise les méthodes ci-après :

- a) Toucher la sensibilité des élèves en éveillant ses émotions afin d'assurer une prise de conscience de manière durable et d'acquérir les principales valeurs.
⇒ Apprentissage actif et stimulant (approches participative et inclusive)
⇒ Expérimentation (principes de l'apprentissage par l'action)

- b) Adapter et varier les méthodes d'enseignement et approches d'apprentissage pour retenir l'attention et l'intérêt de l'élève.
⇒ Pratiques pédagogiques diversifiées en classe
⇒ Différentes approches permettant aux élèves de participer activement à son propre apprentissage (APS, APC,)

- c) Favoriser la réflexion et l'autonomie de l'élève.
⇒ Les quatre styles d'enseignement de l'**écopédagogie**
⇒ Techniques de réflexion : écriture, débat, dessin, exposé, simulation, conte ou fiction.....
⇒ Démarche didactique de l'**écopédagogie**

- d) Etudier, documenter les bonnes pratiques

- e) Renforcer les capacités à travers la recherche permanente

¹⁰ Tiré de l'ouvrage Education pour le Développement Durable à Madagascar, 2013

⇒ Valoriser les centres de ressources pédagogiques (ex : salle d'informations avec connexion gratuite)

⇒ Favoriser les échanges entre établissements

III.2. Evaluation et suivi :

Comme tout apprentissage l'évaluation est nécessaire. Pour cela l'ouvrage Education pour le Développement Durable à Madagascar, stipule les méthodes suivantes :

– Réaliser une auto-évaluation initiale juste après la séance en posant les questions :

1) Qu'avez-vous appris ?

(2) Qu'y a-t-il de vrai dans cette simulation ?

(3) En quoi diffère-t-elle de la vie réelle ?

Puis effectuer des évaluations périodiques.

– Evaluer les résultats des élèves à partir de concours et activités ludiques : concours et compétition, activités extracurriculaires pour évaluer les connaissances et les compétences des élèves (classe verte, écogestes,...) et appliquer les acquis dans les projets communautaires,...

Chapitre III. CHIMIE VERTE

Le concept de « **chimie verte** » ou « **chimie durable** », introduit par les chimistes américains Paul Anastas et John C. Warner, a été développé aux Etats-Unis au début des années 1990, dans le but d'offrir un cadre à la prévention de la pollution liée aux activités chimiques.

I. Définition :

En 1991, l'agence américaine pour la protection de l'environnement lance la première initiative de recherche en « **chimie verte** » en proposant la définition suivante :

La « **chimie verte** » a pour but de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire et d'éliminer l'utilisation et la synthèse des produits dangereux. La chimie verte cherche à réduire et à éviter la pollution depuis sa source. (Anastas. & Warner. 1998).

Dans cette définition, le terme « dangereuses » est prise au sens plus large : le danger peut être physique (substance inflammable, explosive...), toxicologique (cancérogène, mutagène...) ou globale (destruction de la couche d'ozone, changement climatique).

Autrement dit, la « **chimie verte** » tente de transformer l'image négative de la chimie perçue par les gens (chimie = pollution, produit toxique dangereux, menace pour l'ordre naturel), **elle essaie d'enseigner aux gens qu'il ne faut pas avoir peur de la chimie.** (Bensaude-Vincent, 2005).

En résumé, pour limiter l'impact de la chimie sur les hommes et sur l'environnement, la « chimie verte » a été imaginée pour devenir un **outil majeur pour le développement durable** : c'est à dire que la « chimie verte » est une chimie complètement repensée en termes d'impact et de rentabilité, mais aussi en termes d'intérêt pour la société. Aussi les approches de la « chimie verte » comprennent à la fois des nouvelles voies de synthèse et des procédés innovants mais surtout elle est **un nouvel outil pédagogique** pour former les futures chimistes.

II. Principes :

En 1998, Paul Anastas, directeur du Green Chemistry Institute de Washington et son confrère John Warner propose une sorte de mode d'emploi en 12 points pour parvenir à maîtriser l'ensemble du cycle de vie des produits et prévenir ainsi les pollutions à la source. Ces 12 principes représentent le fondement de la chimie verte :

- 1- **Prévenir** : Limiter la pollution à la source plutôt que de devoir investir dans l'assainissement ou l'élimination des déchets.
- 2- **Economiser les atomes** : lors des synthèses, le produit final doit contenir le maximum de fonctionnalités pour le minimum d'atomes. C'est-à-dire les synthèses doivent être conçues dans le but de maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final.
- 3- **Concevoir des produits chimiques moins dangereux** : Nouveaux procédés utilisant et créant des substances faiblement toxiques (voire non toxiques) pour les humains et sans conséquence sur l'environnement.
- 4- **Concevoir des produits chimiques plus sûrs** : Conjuguer efficacité maximale et toxicité minimale, les produits chimiques doivent être conçus de manière à remplir leur fonction primaire tout en minimisant leur toxicité.
- 5- **Réduire l'utilisation de solvants organiques et d'auxiliaires** : Choisir des substances alternatives et peu volatiles. Lorsque c'est possible, il faut supprimer l'utilisation de substances auxiliaires (solvants, agents de séparation, etc.) ou utiliser des substances inoffensives.
- 6- **Améliorer l'efficacité énergétique** : Minimiser les besoins énergétiques des procédés chimiques par la mise au point de méthodes de synthèse à température et pression ambiantes ou dans d'autres milieux réactionnels de synthèse.
- 7- **Utiliser des matières premières renouvelables** : Privilégier les matières premières renouvelables (non fossiles).
- 8- **Réduire les produits dérivés** : Privilégier des voies de synthèse qui ne génèrent pas de coproduits, ceux-ci pouvant notamment générer des déchets. Lorsque c'est possible, toute déviation inutile du schéma de synthèse (utilisation d'agents bloquants, protection/déprotection, modification temporaire du procédé physique/chimique) doit être réduite ou éliminée.

- 9- **Utiliser la catalyse** : Favoriser l'utilisation de réactifs catalytiques permettant, à très faible concentration, d'accélérer les réactions chimiques et de limiter le nombre d'étapes dans les processus réactionnels.
- 10- **Concevoir des substances à dégradation finale dans des conditions naturelles** : Tenir compte dès leur conception du mode de dégradation finale des produits chimiques.
- 11- **Mettre au point des méthodes d'analyse en temps réel** : Permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production pour prévenir les pollutions.
- 12- **Développer une chimie toujours plus sûre** : Choix de substances moins dangereuses pour réduire les risques d'accidents chimiques (rejets, explosions et incendies).

A partir de ces 12 principes, on déduit que la chimie verte ne s'adresse pas uniquement à une opération de synthèse ou de transformation chimique, mais également à la globalité des processus chimiques, depuis l'utilisation des matières premières à la production des déchets. (Sarrade, 2011)

On déduit aussi que la chimie verte s'intéresse principalement aux pratiques industrielles, mais cela n'empêche qu'elle peut s'appliquer à des diverses applications de la chimie notamment, la chimie minérale et la chimie organique.

III. Chimie verte outil majeur du développement durable :

Par définition, la chimie verte cherche à réduire et à éviter la pollution depuis sa source. Elle a pour but de concevoir des produits chimiques permettant de réduire et d'éliminer l'utilisation et la synthèse des produits dangereux pour la santé humaine et l'environnement.

On retrouve dans cette définition les principes et les optiques du développement durable qui font que la chimie verte est un outil clé du développement durable en matière de procédé chimique.

Comment la chimie verte œuvre pour le développement durable ?

On rappelle que les réactions chimiques sont à la base des procédés de synthèse et de production industrielle chimique. Donc pour comprendre et cerner comment la chimie verte cherche à réduire et à éviter la pollution depuis sa source, il faut développer les 4 étapes d'une réaction chimique.

A titre d'exemple concret, celui de la fabrication d'un produit chimique simple : la mayonnaise, peut être pris¹¹.

- D'abord, **il faut partir de matières premières**. Ces derniers peuvent avoir des origines diverses et prendre des formes multiples. Il faut préférer les matières premières renouvelables à celles d'origine fossile. Chaque matière première doit être appauvrie au maximum : cela veut dire qu'il faut récupérer toutes les molécules présentes, même si elles ont des finalités différentes.

Si vous cassez un œuf, le jaune va servir à faire une mayonnaise, on ne prendra pas les blancs, qui, pourtant une fois montés en neige, peuvent être incorporés dans la mousse au chocolat.

- Ensuite, toute opération de chimie nécessite **la mise en solution dans un solvant**, un liquide qui a la propriété de dissoudre les molécules présentes dans les matières premières et de diluer d'autres substances sans les modifier chimiquement et sans lui-même se modifier.

L'eau est le solvant le plus courant mais il en existe d'autres.

L'huile par exemple est capable de solubiliser les molécules issues des corps gras, les lipides présents dans un jaune d'œuf.

- Au mélange solvant + molécule, **il faut souvent apporter de l'énergie** pour enclencher la réaction proprement dite. Cette énergie peut être apportée sous forme de chaleur, de pression, d'agitation,....

Si on mélange uniquement du jaune d'œuf et de l'huile, il y a aucune chance d'obtenir autre chose qu'une mixture sans intérêt.

C'est bien parce que l'on a apporté de l'énergie avec le poignet ou un batteur électrique que la transformation s'opère et que l'on obtient la mayonnaise.

- Enfin, une fois **récupérés les produits de la réaction**, ce qui va rester, c'est souvent un mélange de solvant en excès **et de déchets à gérer**.

¹¹Exemple tiré de l'ouvrage « *la chimie pour une planète durable* » écrit par Stéphane Sarrade, Paris : éditions le Pommier, 2011.

Pour vote mayonnaise, il faut juste imaginer que les coquilles d'œufs sont des déchets, dans ce cas précis facile à gérer.

Sachant les étapes à suivre lors d'une réaction chimique, Stéphane Sarrade, nous fait découvrir comment s'intègre la chimie verte dans ces 4 étapes.

III.1. La gestion des matières premières :

L'industrie de la chimie existe depuis environ 150 ans, et son histoire est intimement liée à celle du pétrole, du gaz naturel et du charbon, des ressources fossiles non renouvelables.

Au début du XXI^{ème} siècle, le pétrole est toujours la matière première phare de la chimie, en effet, lors du raffinage du pétrole, l'opération de distillation atmosphérique amène à la fabrication de différentes familles de composés chimiques, appelées « coupes pétrolières ». C'est le cas de la coupe appelée « naphta total », qui peut être traitée en température très élevée dans une installation appelée « vapocraqueur ».

Le craquage à la vapeur du naphta permet de couper les chaînes d'hydrocarbures en molécules plus courtes, plus fragiles, qui pourront ensuite être recombinaées comme des pièces d'un nouveau puzzle et transformées, par exemple, en matières plastiques. Un vapocraqueur permet, par exemple, de produire de l'éthylène et du propylène, à la base de la fabrication de deux matériaux plastiques, rencontrés sur les pare-chocs de voiture jusqu'aux emballages alimentaires. C'est la base de l'industrie chimique.

Mais depuis peu, nous avons pris conscience que cette ressource fossile est forcément limitée et que cette matière première doit être remplacée par des matières premières renouvelables.

Il faut utiliser au mieux les matières premières, si possible renouvelables, qui, transformées, doivent se trouver le plus possible dans le produit final, limitant ainsi la production de sous-produits et de déchets. Ainsi, pour anticiper l'épuisement programmé du pétrole et pour répondre aux impératifs environnementaux actuels, la chimie s'est orientée vers l'utilisation des matières premières d'origine végétale : nous sommes au début de l'ère de bioproduit.

III.1.1. Bioproduits et chimie du végétal :

Les bioproduits, c'est-à-dire les biocarburants, les bioplastiques,..... sont des produits ou des matériaux issus de matières premières végétales.

D'un point de vue environnemental, le bénéfice est double. En effet, les végétaux sont par définition, « renouvelables » et, via la photosynthèse, consomment du CO₂ pour croître, ce qui fait moins de dioxyde de carbone dans l'atmosphère.

Et lorsqu'ils deviennent des déchets, ils sont, biodégradables.

La chimie du végétal est un élément de la chimie verte, elle est née après la seconde guerre mondiale dans le monde du bioplastique. Maintenant, l'idée est de transformer le concept de raffinerie de pétrole vers celui de raffinerie de matière végétale.

Toutefois la chimie du végétal est limitée par notre capacité à ne pas concurrencer les cultures de productions alimentaires.

III.1.2. Des algues dans les raffineries :

Dans la chimie du végétal, une matière première est en train de monter en puissance : les microalgues.

L'idée est de faire pousser une microalgue qui puisse contenir jusqu'à 60% de matières grasses, des lipides qui peuvent servir de molécules de base pour la pharmacie ou la cosmétique ou qui pourront servir à fabriquer des biocarburants. Ces microalgues ne rentrent pas en compétition avec des cultures alimentaires et elles vont sûrement permettre d'amplifier le concept de bioraffinerie.

Pourquoi ne pas avoir développé les bioraffineries plus tôt ?

Pour beaucoup de raisons, notamment le problème de technologie : il a fallu attendre les débuts des années 90 pour voir commercialiser ces membranes dites de « nanofiltration », outils performants de tri de la matière première. Dans une solution obtenue à partir de source végétale, il y a un mélange de différentes molécules, des tailles et des formes différentes. Séparer les molécules qui vont avoir des destins différents alimentations- pharmacie ou énergie- nécessite donc des outils extrêmement sélectifs.

III.2. Les produits chimiques : les solvants et les auxiliaires de réactions

Il n'est pas possible d'envisager de faire de la chimie sans utiliser des solvants. Dans le monde de la chimie, les solvants appartiennent uniquement à deux familles : les solvants aqueux, et les solvants organiques. Ces deux phases sont généralement « immiscibles ».

Si on ajoute un composé chimique dans les solvants immiscibles, il va se solubiliser soit dans le solvant aqueux, soit dans le solvant organique.

Pour un composé chimique, la nature du solvant dans lequel il va se solubiliser fait partie de sa carte d'identité ; il est :

- Soit polaire (soluble dans l'eau)
- Soit apolaire (soluble dans les solvants organiques)

L'eau tant que solvant ne pose pas problème, ni en terme de rejet ni en terme d'impact ; ce qui pose problème c'est la raréfaction de l'eau.

Pour les solvants organiques c'est un tout autre problème.

Les solvants organiques, omniprésents, problématiques :

Les composés apolaires étant nombreux dans l'industrie, l'utilisation des solvants organiques est très sollicitée. Or, selon l'institut national de recherche et de sécurité (INRS), aucun solvant organique n'est inoffensif.

Les solvants organiques sont des hydrocarbures des molécules formés d'atomes de carbone et d'hydrogène. Il existe 8 principales familles :

- ❖ Hydrocarbures aromatiques : benzène, toluène, Xylène....
- ❖ Les solvants pétroliers : les alcanes et les alcènes.
- ❖ Les alcools : méthanol, éthanol, glycols.....
- ❖ Cétones : acétone, méthyléthylcétone.....
- ❖ Esters : acétates, agrosolvants.....
- ❖ Ethers : éthers éthylique, THF, dioxane.....
- ❖ Ethers de glycol
- ❖ Hydrocarbures halogènes : chlorés, bromés ou fluorés.....
- ❖ Solvant particulières : amines, amides, terpène.....

Principalement, ils servent de :

- Dégraissant : nettoyage des métaux, des textiles.....
- Additifs et diluants : peintures, vernis, encres, colles, pesticides.....
- Décapants : éliminations des peintures, des vernis, colles.....
- Purifiants ou extractants : pour les produits alimentaires, les parfums, les médicaments.

Après leur utilisation les solvants organiques sont : soit incinérés pour récupérer de l'énergie, soit recyclé et réutilisés dans le même procédé à de nombreuses reprises. Du fait de leur volatilité, les solvants organiques sont souvent classifiés comme des composés cancérogènes, mutagènes, reprotoxiques : en cas d'exposition importante, cela peut conduire à des affections du cœur, des reins, du sang, des poumons, du foie.

De plus, les solvants inflammables ont été les causes des incendies industrielles. Dans les années 70, l'industrie agroalimentaire a mis sur le marché des quantités importantes de café décaféiné. La caféine est un alcaloïde (tonicardiaque et excitant) plutôt apolaire pouvant être extraite à partir du chloroforme, du dichlorométhane et du benzène.

Les consommateurs réguliers du café décaféiné ont commencé à présenter des affections cirrrose du foie (maladie chronique du foie caractérisé par une altération des fonctions hépatiques et par des nodules de régénération). Les traces des solvants résiduelles dans le café ont été rapidement identifiées comme cause majeure de cette affection. Il fallait trouver rapidement un autre procédé.

Au début des années 80 la société allemande HAG avait brevetés un procédé de décaféination sans solvant organique en utilisant le **CO₂ supercritique**. Le dioxyde de carbone sous pression et à température proche de la température ambiante n'est plus solide, liquide ou gazeux : il est en phase supercritique. Dans cet état particulier, il va présenter des propriétés remarquables, et notamment les mêmes pouvoirs solvants que celui de l'hexane, et des alcanes.

L'eau liquide sous pression présente des propriétés accrues de solvants. Il est donc possible d'envisager de l'utiliser sous pression pour extraire efficacement des composés à partir de l'eau sous plusieurs dizaines, voire une centaine de bars. Depuis des dizaines d'années, les « solvants verts » sont apparus un peu partout dans le monde, Stéphane Sarrade, dans son ouvrage donne plusieurs exemples de solvant vert.

III.3. L'énergie apportée à la réaction chimique :

Pour qu'une réaction soit réalisée, il faut apporter de l'énergie. Mais comment utiliser au mieux l'énergie dans les procédés chimiques, en termes de rendement, d'économie et de source de rejets ?

Depuis longtemps, beaucoup de pétrole ont été brûlés pour fournir de la chaleur qui va rendre possible les processus chimiques : comme les synthèses, l'extraction, les transformations quelconques et surtout la distillation. En 1973, une inquiétude est née autour de l'approvisionnement en pétrole car le pétrole est une ressource fossile qui se raréfie.

Des questions se sont alors posées sur des procédés alternatifs.

C'est ainsi que la chimie verte amené des réflexions intenses à partir des années 1970. Après de longues années d'études, nous avons retrouvé les membranes et les fluides supercritiques : les membranes sont des objets permettant, sans ajout de tiers corps, une séparation physique, un fractionnement à température ambiante, il en est de même pour le CO₂ supercritique ; la force motrice de séparation est une pression générée par une pompe. Pour les procédés membranaires et supercritiques, les pompes et les compresseurs fonctionnent à l'électricité ; donc l'utilisation de l'éolien et des plaques photovoltaïque peut aussi permettre d'envisager de nouvelles mise en œuvre de ces opérations.

L'utilisation des catalyseurs permet aussi de faire des économies en énergie. Grâce au catalyseur, les composés chimiques sont transformés rapidement et sans intermédiaire, permettant d'obtenir un vrai gain d'énergie et de production de déchet.

III.4. Gestion des déchets recyclables et production de déchets ultimes :

Cette dernière partie est la plus récente, car c'est celle dont la prise de conscience a été la plus tardive. Pourquoi ?

La matière première ou de l'énergie qui apporte à des industriels des gains immédiats, sont ceux qui ont motivé le plus fortement ces derniers à s'y intéresser.

Pendant longtemps, gérer des déchets est une action financièrement neutre, puisqu'il suffisait de rejeter dans la rivière, d'épandre dans un champ ou d'entreposer dans une décharge tous les déchets industriels pour solutionner le problème.

Depuis quelques années, le coût de traitement des déchets a énormément augmenté dans les pays occidentaux, ce qui amène à envisager les déchets non plus comme des résidus, mais

comme de nouvelles sources d'énergie, via en cogénération, ou de matière première, via le recyclage. *Les procédés membranaires ont ici permis de recycler et de valoriser sous forme de matières premières les déchets alimentaires.* (Sarrade, 2011).

Il y aura malgré tous des déchets ultimes qu'il faudra produire mais en quantité minimales et dans des formes chimiques (solides, liquides ou gazeux) adaptées limitant leur dissémination dans l'environnement.

IV. La chimie verte et l'enseignement :

Comme la «**chimie verte**» est une science encore en pleine essor, et jusqu'à maintenant utilisée pour les recherches et l'industrie. Son application à l'enseignement de la chimie en classe reste encore un grand sujet de recherche.

IV.1. La chimie verte, mérite-t-elle une place dans l'enseignement ?

Les programmes de chimie ne mentionnent pas, ou à peine, de façon claire et précise la chimie verte, qui est une manière sûre et responsable de gérer les procédés chimiques. D'autre part, il est aussi clair qu'une attitude écologique c'est-à-dire respectueux de l'environnement fait partie des compétences finales dans notre société actuelle.

De plus, de jour en jour, la « chimie verte » gagne en intérêt dans l'industrie. Les coûts de l'énergie, le transport des déchets, l'assurance des travailleurs pour des accidents ou des maladies dues aux produits chimiques et similaires prennent petit à petit le dessus. Par conséquent, l'industrie est demandeuse de scientifiques et d'ingénieurs qui ont l'œil pour cette problématique.

Enfin et non le moindre, trop souvent la chimie est associée à un environnement malsain, à des produits nocifs, à des problèmes environnementaux et de toute sorte de danger, et celui-ci éveille le plus souvent chez certains élèves un certain dégoût pour la chimie. Introduire un accent vert ou plus précisément la « chimie verte » dans le cours de chimie pourrait être motivant pour l'élève et parvenir à un balayage d'un obstacle psychologique important dans l'apprentissage de la chimie.

IV.2. La chimie verte en classe :

Malgré le fait que les programmes d'enseignement soient très étendus, la chimie verte peut être introduite sérieusement dans les cours, dans le laps de temps imparti. De ce qui précède, on peut conclure que la chimie verte, dans une certaine mesure, n'exige que peu de nouvelles connaissances.

La chimie verte demande plutôt une habitude, un souci constant, une analyse critique continue de toutes les manipulations et les processus d'ordre chimique avec les 12 principes fondamentaux en arrière-plan. Ainsi des aspects de la chimie verte peuvent être enseignés sans nuire au temps d'enseignement et à la matière enseignée.

PARTIE II : POLITIQUE ET STRATEGIE EDUCATIVE sur L'EDD.et ANALYSE DU CURRICULUM SCOLAIRE MALGACHE.

Chapitre I : POLITIQUE ET STRATEGIE EDUCATIVE SUR L'EDD :

L'EE plus précisément l'ErE était intégrée à Madagascar depuis une trentaine d'années alors que le concept d'EDD ne date que de quelques années.

C'est par le biais de la troisième république en 2006 que le concept de développement durable commençait à transparaître dans le programme gouvernemental par le plan d'action à Madagascar ou MAP.

I. MAP : Plan d'Action à Madagascar.

En vue d'accélérer et de mieux coordonner le processus de développement, l'institution de la troisième république a élaboré le MAP. Il décrit les engagements, les stratégies et les actions qui conduiront à une croissance économique rapide, contribueront à la réduction de la pauvreté et permettront à Madagascar de tirer avantage des défis de la mondialisation conformément à la vision « Madagascar Naturellement » et aux objectifs du Millénaire pour le développement (OMD¹²).

Le MAP définit la feuille de route et les priorités de Madagascar de 2007 à 2011 notamment pour l'amélioration des infrastructures, du système éducatif, du domaine de la santé en particulier la lutte contre la propagation du VIH/SIDA, ainsi que le développement rurale. (MAP, 2006).

I.1. Le MAP et les OMD :

Le MAP s'est engagé à atteindre les objectifs du millénaire pour le développement à savoir:

- 1. Eradiquer la pauvreté extrême et la famine :** réduction à moitié le pourcentage de la population mondiale qui vit avec moins de 1\$ par jour jusqu'en 2015, diminuer à moitié le pourcentage de la population mondiale souffrant de la famine.
- 2. Atteindre l'éducation primaire universelle :** tous les enfants termineront l'école primaire en 2015.

¹² OMD : Objectif du Millénaire pour le Développement

3. **Promouvoir l'égalité des sexes et responsabiliser les femmes** : éliminer l'inégalité des garçons et des filles à tous les niveaux d'éducation jusqu'en 2015.
4. **Réduire la mortalité infantile** : réduire la mortalité infantile de deux tiers jusqu'en 2015.
5. **Améliorer la santé maternelle** : réduire à moitié la mortalité maternelle jusqu'en 2015.
6. **Combattre le VIH/SIDA, le paludisme, ainsi que d'autres maladies** : contenir et inverser les tendances jusqu'en 2015.
7. **Assurer la durabilité environnementale** :
 - a) Adopter des stratégies pour le développement durable et la protection des ressources naturelles,
 - b) Réduire à moitié la population sans accès à l'eau.
8. **Développer un partenariat global pour le développement** : libéraliser les commerces et système de financement, faciliter l'accès aux marchés, accentuer le processus d'annulation de dettes, créer des emplois pour les jeunes, promouvoir l'accès aux nouvelles technologies.

Il est à noter que la relation entre l'EDD et la réalisation des OMD pour le développement n'est pas toujours évidente. Cependant, l'accès à l'éducation est également une condition cruciale pour la réalisation des objectifs du millénaire. (Assemblée Générale des Nations Unies, 2010).

Un bon exemple de contribution de l'EDD à la réalisation des OMD concerne le 7^e objectif réservé à la durabilité environnementale.

I.2. Les engagements du MAP :

Selon le dictionnaire Larousse, l'engagement est une promesse par laquelle on s'engage à accomplir quelque chose. Le MAP est un plan sur 5 années, qui exprime les engagements de l'institution pour permettre au pays de sortir de la pauvreté et de lancer un saut qualitatif dans le moyen terme. Le MAP contient 8 engagements permettant à plusieurs secteurs socio-économiques de s'améliorer et se développer ; parmi lequel figure la réorganisation du système éducatif.

Du point de vue social et civique, l'éducation est un droit pour le citoyen et un devoir pour l'état. Elle représente une étape nécessaire au développement de la société et

l'éradication de la pauvreté. Du point de vue économique, l'éducation est un investissement : aujourd'hui elle représente une dépense qui servira à produire demain un supplément de richesse et de bien-être. L'engagement de l'Etat à transformer l'éducation en ce temps-là a été alors justifiée.

 **Pour l'école primaire : l'Etat s'engage à créer un système d'éducation primaire performant.**

Le gouvernement malgache a entamé une réforme du système éducatif en 2003, avec le lancement du plan national d'Education Pour Tous (EPT). Des progrès ont été enregistrés, les effectifs totaux d'élèves de l'enseignement primaire passant de 1,7 millions au cours de l'année scolaire 1997-1998 à 3,7 millions en 2005-2006. (Rapport national de suivi des OMD-2007).

Cependant, ce succès en termes de scolarisation demeure relatif en ce sens que le taux de rétention et l'efficacité interne restent à améliorer de manière significative.

Aussi des différences subsistaient au niveau de l'accès et de l'efficacité interne du système éducatif, selon l'origine socio-économique des élèves.

Il est aussi prouvé que les 5 années de scolarité obligatoire ne suffisent pas pour permettre l'élimination de l'analphabétisation, la construction de compétences applicables dans le monde du travail, et le développement du capital humain de la nation.

Le gouvernement se propose alors de reformer le système éducatif, en allongeant le cycle primaire en 7 années puis réorganiser le lycée en conformité avec cette réforme, vu qu'actuellement celui-ci est structuré comme suit : 5 années de primaire, 4 années de collège tandis que 3 ans celui du lycée. La réforme de l'éducation fondamentale permettra à Madagascar d'augmenter le nombre moyen d'années de scolarité, et d'améliorer le niveau éducatif de la population. Réforme pas encore entreprise jusqu'à nos jours.(MAP, 2006)

 **Pour les collèges : le défi de l'Etat est de renforcer le système d'éducation fondamentale.**

Pour limiter, éviter l'abandon scolaire au collège, l'Etat propose d'augmenter les capacités d'accueil par le développement des infrastructures scolaires, la formation et le recrutement de nouveaux enseignants. Aussi l'amélioration des programmes d'enseignement en renforçant l'enseignement des mathématiques, des sciences et technologies, des langues

étrangères et des sciences sociales, ainsi que de garantir leur pertinence par rapport aux défis économiques et sociaux auxquels le pays fait face. De plus, une des stratégies de l'Etat pour renforcer le système d'éducation fondamentale du premier cycle est de développer les pratiques pédagogiques susceptibles de promouvoir la créativité, le sens de la compétition, de l'entrepreneuriat et du professionnalisme, mais aussi de créer des kits, des outils pédagogiques et de nouveaux matériels didactiques pertinents. (MAP, 2006)

 **Pour les lycées : le défi de l'Etat est d'améliorer le système d'enseignement et de développer la formation professionnelle.**

En 2006, très peu d'élèves ont accès à l'enseignement secondaire. Ceux qui y entrent se voient offrir un nombre limité d'options d'études. Il faut diversifier et augmenter l'offre et la qualité des cursus techniques et professionnels.

Pour ce faire, les stratégies entreprises par l'Etat sont :

- L'amélioration des capacités d'accueil par la construction d'infrastructures, la formation et le recrutement de nouveaux enseignants.
- La transformation des programmes de manière à introduire de nouvelles matières : les TIC, l'économie, les communications, les langues et les sciences.
- La transformation du système éducatif secondaire professionnel de manière à répondre aux besoins locaux. (MAP, 2006)

 **Pour l'université : le défi de l'Etat est de transformer l'enseignement supérieur.**

Le système d'enseignement supérieur est insuffisamment développé à Madagascar. L'adéquation entre les programmes proposés et les besoins des employeurs est très faible. Bien que les universités aient commencé à modifier certains aspects de leurs programmes, les changements demeurent en majeure partie insuffisants pour répondre aux besoins d'une économie à forte croissance. Une réforme des enseignements supérieurs s'avère nécessaire.

Voici quelques exemples de stratégies entreprises par l'Etat à travers le MAP pour transformer l'enseignement supérieur :

- Mettre les programmes en conformité avec les normes et standards internationaux, y compris le système LMD (Licence, Master, Doctorat)
- Développer le système d'enseignement à distance.
- Orienter les recherches et le développement vers les besoins du pays. (MAP, 2006)

Pour résumer, le MAP est un document qui s'appuyait sur les OMD. À travers le MAP en 2006, il y avait un réel engagement de l'Etat pour un développement rapide et durable à Madagascar dans de nombreux secteurs, y compris le secteur de l'éducation. Depuis le 17 Mars 2009, Madagascar se trouve dans un contexte politique de crise ; et depuis le « Plan d'Action à Madagascar » ou MAP n'est plus évoqué.

Récemment, les actuels dirigeants de Madagascar définissent le PND¹³ comme l'orientation d'une nouvelle trajectoire de développement. Elle a pour but de « bâtir un nouveau Madagascar, un Madagascar fort et ainsi léguer aux générations futures un pays apaisé, uni et prospère qui aura réussi à devenir un leader mondial de la valorisation et de la préservation de son immense capital naturel en se basant sur une croissance forte et inclusive au service du développement équitable et durable de tous les territoires ».

Cependant, sur le plan national, l'ErEDD¹⁴ s'inscrit dans le cadre de la constitution de la République de Madagascar par le décret n° 2013-880 du 23 décembre 2013 fixant la Politique Nationale de l'Education relative à l'Environnement pour le Développement Durable ainsi que dans la charte de l'Environnement Malagasy actualisé.

II. Charte de l'environnement Malagasy actualisée :

La charte de l'environnement est une loi-cadre fixant les règles et les principes fondamentaux pour la gestion de l'environnement y compris sa valorisation.

La loi a ainsi pour objet d'actualiser la charte de l'environnement Malagasy dans les sens expliqués ci-dessous :

Le caractère évolutif de l'environnement fait apparaître de nouveaux enjeux, de nouveaux défis et de nouvelles tendances, aussi bien sur le plan national qu'international.

Alors que le pays continue à faire face aux problèmes environnementaux classiques, il doit désormais faire face également à de nouveaux risques liés à l'environnement, entre autres, la gestion des produits chimiques en vue de la sécurité chimique, la gestion des déchets dangereux comme les déchets des équipements électriques et électroniques, le changement climatique, les gestions des différentes sources de pollutions.

¹³Plan National de Développement

¹⁴ Education relative à l'Environnement pour le Développement Durable fixé par par le décret n° 2013-880 du 23 décembre 2013

Les règles de gestion de l'environnement doivent suivre de telle évolution pour être efficace.

Aussi avec la mondialisation, l'augmentation de la fabrication et du commerce des produits chimiques au cours de ces trente dernières années est telle que la population ainsi que les pouvoirs publics se préoccupent des risques potentiels posés sur la santé humaine et l'environnement par ces produits. Il est capital de trouver des produits de remplacement moins nocifs pour l'environnement et la population.

En outre, sur le plan international et dans le cadre de protection de l'environnement, Madagascar a adhéré à plusieurs conventions et le pays a des obligations à honorer vis-à-vis de ces accords internationaux.

Tels sont les quelques motifs d'actualisation de la présente loi.

Les principes de la nouvelle charte, modifiée par la loi n° 2015-003 du 19 Février 2015 portant *la charte de l'environnement Malagasy actualisée*, sont déclarés par les articles 7,10, 11, 12, 13 comme le principe de pollueur-payeur, le principe de précaution, le principe de participation du public, le droit inhérent à chaque individu d'accéder aux informations susceptibles d'influencer sur l'état et l'environnement et le principe de l'accès à la justice en cas de violation du droit à l'information.

Dans la mise en œuvre des actions environnementales (TITRE IV), section III de la bonne gouvernance environnementale, **Article 20**, des notes ont particulièrement retenu notre attention :

- Renforcer et diversifier le système d'Information, d'Education, de formations et de Communications Environnementales pour le développement durable par rapport aux nouveaux modes de communication.

- Renforcer les dispositifs d'évaluation, d'étude, du suivi et du contrôle/ inspection des impacts sur l'environnement : Evaluation Environnementale Stratégique, Etude d'Impact Environnemental, Programme d'Engagement Environnemental et audit environnemental.

- Développer et renforcer les mesures de protection contre l'introduction sur le territoire national des produits et déchets nocifs et dangereux.

Par ces principes on peut déjà affirmer que l'enseignement de chimie verte sera un atout pour la réalisation de ces actions environnementales.

III. Politique nationale de l'éducation relative à l'environnement pour le développement durable (PErEDD) :

La PErEDD, publié le 23 Décembre 2013 contient les orientations stratégiques pour l'ErEDD et les principes utilisées pour la mise en œuvre de cette dernière. Elle est fondée sur le savoir, le savoir-être et les savoir-faire afin de développer la conscience environnementale de chaque citoyen, mais surtout sur les grands principes régissant le Développement Durable.

Elle devra viser à former des citoyens responsables, solidaires et engager à agir individuellement et collectivement dans un environnement harmonieux pour un développement durable.

Suite au constat des lacunes dans la politique de l'éducation relative à l'environnement (PErE¹⁵), tant sur le plan institutionnel que dans la mise en œuvre, le ministère de l'environnement et des Forêts en collaboration avec les Ministères sectoriels et les organismes partenaires a procédé à la mise en place de la Politique Nationale de l'Education Relative à l'Environnement pour le Développement Durable (PErEDD).

La PErEDD contient six orientations stratégiques qui s'adressent aux individus mais aussi aux collectivités, au secteur public tout autant qu'au secteur privé, qui serviront de référence dans toute activité d'ErEDD pour harmoniser les actions. En matière d'éducation environnementale la PErEDD est une politique qui doit être prise en compte par tous les secteurs de développement dans la formulation de leur politique de développement respective. La mise en œuvre de la PErEDD contribue ainsi à l'avènement d'une Nation inscrivant ses actions dans la pérennité.

Les axes prioritaires de la PErEDD se focalisent sur des thèmes nationaux et non des thèmes internationaux ; qui se tournent le plus souvent sur l'environnement. Ces thématiques environnementales étudiées dans le cadre de l'ErEDD sont subdivisées en deux catégories : les thématiques en relation directe avec le milieu physique et celles se rapportant aux sociétés humaines.

¹⁵Décret N°2002-751, du 31 juillet 2002, fixant la Politique nationale d'Education Relative à l'Environnement

Les thématiques en rapport avec le milieu sont :

- ✚ La pollution et les déchets.
- ✚ Le changement climatique.
- ✚ Les problèmes environnementaux engendrés par l'extraction minière.
- ✚ La déforestation, incluant entre autres les feux de brousse et les coupes illicites.
- ✚ La dégradation du sol; la désertification.
- ✚ La gestion rationnelle des ressources naturelles.
- ✚ La gestion des zones marines et côtières, incluant entre autre la lutte contre l'érosion marine et côtière ainsi que la protection des mangroves et des récifs coralliens.

Les thématiques relatives aux sociétés sont :

- ✚ La lutte contre la pauvreté.
- ✚ La gestion de la croissance démographique et l'amélioration de la vie sociale.
- ✚ La gestion de la migration interne incluant l'exode rural.
- ✚ L'Environnement et la Culture.
- ✚ L'intégration de l'ErEDD dans les processus de production.
- ✚ La prévention et la lutte contre les différents fléaux naturels ou artificiels.

Ces thèmes sont déterminés par le CNErEDD(Conseil National de l'ErEDD), d'autres thématiques peuvent être proposées selon l'évolution du contexte environnemental du pays.

Chapitre II. ANALYSE DU CURRICULUM SCOLAIRE MALGACHE.

L'Éducation au développement durable consiste à intégrer dans l'enseignement et l'apprentissage les thèmes clés du développement durable, comme le changement climatique, la prévention des catastrophes, la biodiversité, la réduction de la pauvreté ou la consommation durable. Elle implique l'adoption des méthodes pédagogiques participatives visant à motiver et autonomiser les apprenants, pour qu'ils modifient leurs comportements et deviennent les acteurs du développement durable. C'est pourquoi l'Éducation au développement durable favorise l'acquisition de compétences permettant aux apprenants de développer leur esprit critique, d'imaginer des scénarios prospectifs et de prendre des décisions communes.

Afin d'y parvenir, un changement en profondeur de l'enseignement tel qu'il est généralement pratiqué aujourd'hui dans les écoles est nécessaire, et cela commence par la réorientation du curriculum scolaire vers l'EDD.

I. Définition du curriculum:

Les Anglo-Saxons utilisent le terme « curriculum » pour désigner la conception, l'organisation et la programmation des activités d'enseignement/apprentissage selon un parcours éducatif. Il est considéré comme l'équivalent de « programme d'études » dans le concept français.

D'après le professeur Louis d'Hainaut, grand spécialiste de l'élaboration des curriculums dans les pays francophones, « un curriculum est un projet éducatif qui définit :

- Les fins, les buts et les objectifs d'une action éducative ;
- Les voies, les moyens et les activités mis en œuvres pour atteindre ces buts ;
- Les méthodes et les outils pour évaluer dans quelle mesure l'action a porté ses fruits. »

D'après V et G de Landsheere : « les questions de curriculum portent toujours sur les fins de l'éducation et les programmes seront d'autant plus efficaces et clairs qu'ils s'expriment en comportements à apprendre et subsidiairement, en liste de matières ». Le curriculum est donc une stratégie éducative qui définit :

- Les objectifs à atteindre au cours de l'apprentissage, en terme non seulement de savoir mais de comportement (savoir-faire et savoir être) ;
- Les contenus de l'enseignement ;
- Les moyens et stratégies de mise en œuvre pour atteindre les objectifs ;
- Les méthodes et outils pour évaluer dans quelle mesure l'action a porté ses fruits.

II. Les différents niveaux de curriculum :

Selon De Landsheere (1992), il y a 3 niveaux de curriculum à savoir : le curriculum formel ou prescrit, le curriculum réel et le curriculum potentiel.

II.1. Le curriculum formel :

Un curriculum formel ou prescrit est en un document écrit, **formulées par l'institution** et qui présentent l'ensemble des apprentissages qui devraient être réalisés par les élèves d'un niveau, d'un cycle ou d'une filière. Le curriculum formel comprend donc les ambitions, buts et objectifs, le contenu de l'apprentissage, les stratégies d'instruction et les méthodes d'évaluation : il s'agit du plan de cours ou sommaire. C'est le dit programme que tout le monde connaît.

II.2. Le curriculum réel :

Le curriculum réel ou effectif reflète ce qui se passe réellement en classe pendant le cours et tous ce qui sont inscrits dans les cahiers des apprenants. On sait bien que le curriculum formel n'engendre pas directement des apprentissages. Il faut qu'ensemble maître et élèves le transforment en un **curriculum réel**, autrement dit en une succession d'activités et d'expériences formatrices grâce auxquelles les élèves sont censés se développer ou s'approprier des savoir-faire et des connaissances.

II.3. Le curriculum potentiel :

Le curriculum potentiel est l'ensemble des ouvrages, revus, matériels didactiques disponibles et aussi de la compétence du professeur.

Cependant les programmes formels jouent un grand rôle dans l'éducation et l'enseignement : quoi enseigner, dans quelle classe, à quelle niveau, quel temps y consacrer, comment et pourquoi, et enfin, qui s'en occupe. C'est pourquoi nous jugeons nécessaire de développer les caractéristiques, l'élaboration et la situation du programme scolaire face à l'EDD.

III. Le curriculum formel :

III.1. Caractéristique du curriculum formel Malgache:

Au début des années 90, dans un contexte d'austérité économique, s'inscrit la troisième réforme du système éducatif de Madagascar. En 1996, les curriculums scolaires des lycées, des collèges d'enseignement générale de Madagascar et des écoles primaires de Madagascar sont fixés ; curriculums en vigueur de nos jours et qui n'ont pas connue de

changement fondamental et sont restés avec les mêmes contenus académiques malgré les réformes successives.

Au début de ces programmes scolaires s'inscrivent les finalités générales de l'enseignement, ses objectifs généraux, le profil attendu à la sortie de chaque cycle, le tableau des horaires pour chaque matière.

Pour chaque matière, les objectifs spécifiques, les contenues, les observations sont disposés en tableau à trois colonnes :

- La première colonne réservée aux objectifs spécifiques constitue une des réformes des stratégies d'enseignement malgache de 1990. On passe d'une pédagogie dite « des contenues » à une pédagogie centrée sur l'élève dans la mesure où l'objectif implique sa réussite.

(L'élève doit être capable de + verbe d'action)

- La deuxième colonne fixe les contenues, chapitre ainsi que les titres des leçons à traiter.
- La troisième colonne où l'on trouve l'observation, définit les objectifs qui dirigent les professeurs sur les moyens et les stratégies de mise en œuvre pour atteindre les objectifs. Les planificateurs du programme mentionnent déjà les activités que le professeur devrait accomplir.

A la fin des programmes scolaires s'inscrivent des instructions portant sur les orientations pédagogiques possibles, les supports pédagogiques utilisables et enfin l'évaluation à faire.

III.2. Elaboration du Curriculum Formel :

Qui élabore les curriculums scolaires et comment ?

Pour le cas de Madagascar le curriculum est élaboré par l'UNITE D'ETUDE ET DE RECHERCHE PEDAGOGIQUES (UERP¹⁶) plus précisément par le **Département de la Didactique**. Le curriculum est le fruit d'une étude approfondie, d'échange de vue, de discussion avec les utilisateurs du programme.

¹⁶UERP : l'Unité d'Etude et de Recherche Pédagogiques

III.3. Les raisons de changement du curriculum :

Alors que l'environnement change et que de nouveaux besoins naissent dans la société, le curriculum change aussi afin d'y répondre. Puisque l'école est une institution sociale au service de la société, un changement dans cette dernière va indéniablement influencer le curriculum. Prenant en compte le fait que la société évolue continuellement et que de nouveaux besoins et obstacles surgissent, le curriculum doit donc être modifié suite à des changements économiques, sociaux et politiques.

A Madagascar par exemple en 1991, le système éducatif a procédé à une innovation du programme scolaire, due à l'aspiration du peuple suite à la chute de l'URSS. De « nouveaux programmes » pour la rentrée scolaire 1992-1993 été exigé.

De plus, de 1975 jusqu'au début des années 90, sous l'impulsion de la loi 78-040 préconisant la décentralisation, la démocratisation et la malgachisation ; le secteur éducatif avait connu un changement dans les contenus et la transmission des savoirs ainsi que dans la formation des enseignants. Après la formation des enseignants de tous les niveaux, la formation des formateurs, tout le monde est conscient de la nécessité de l'innovation du programme.

Aujourd'hui, pauvreté, changement climatique, conservation des ressources naturelles, protection de l'environnement, inégalités sociale sont que quelques-uns des défis que la communauté mondiale est confrontée. Les solutions technologiques, les réglementations politiques ou les instruments financiers ne suffisent pas.

Il faut changer notre manière de penser et d'agir au niveau de l'individu et au niveau de la société pour évoluer progressivement vers un mode de vie durable. Seule l'éducation peut provoquer une transformation aussi radicale. (UNESCO, 2013).

Pour ce faire, un changement majeur du curriculum est nécessaire. Autrement dit, une réorganisation complète du modèle conceptuel de curriculum : de la structure, du contenu, des stratégies, des méthodes, du matériel et des installations doit être faite pour obtenir un tout nouveau curriculum qui s'ajustera aux besoins de la société. La rédaction des nouveaux programmes doivent prendre en compte de façon explicite les objectifs du développement durable.

Chapitre III : PROGRAMME SCOLAIRE MALGACHE ET ENSEIGNEMENT DE SCIENCES PHYSIQUES FACE A L'EDD

I. Situation du programme scolaire malgache face à l'EDD :

Actuellement les thématiques de l'EDD ne sont pas encore introduites dans le programme scolaire à Madagascar. Cependant, la plupart des disciplines du niveau secondaire telles que les sciences de la vie et de la terre, l'histoire géographie intègrent déjà dans le programme scolaire de nombreux thèmes de l'EDD plus précisément de l'EE qui est une éducation similaire à l'EDD.

La matière histoire-géographie traite tout ce qui concerne la terre, les histoires de la société et la situation économique mondiale, l'environnement et le développement,..... Tandis que les sciences de la vie et de la terre, étudie l'histoire de l'humanité et la planète toute entière, y compris la biodiversité planétaire, bref tout ce qui est à l'intérieur du globe terrestre, son évolution, son développement ainsi que sa dégradation.

Voici un tableau montrant la place de l'éducation à l'environnement dans le programme traité pour chaque année du 2nd cycle du niveau secondaire (2nd, 1^{ère}, terminale).

Tableau 1: Tableau montrant la place de l'éducation à l'environnement dans le programme traité pour chaque année du 2nd cycle du niveau secondaire (2nd, 1^{ère}, terminale).

| CLASSES | MATIERE | THEMES TRAITANT L'EDUCATION ENVIRONNEMENTALE |
|-----------|--|--|
| Seconde | <ul style="list-style-type: none"> - Anglais - Géographie - Sciences de la vie et de la terre | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Santé et environnement ➤ Plan du future et intention ➤ La planète terre. ➤ Le relief terrestre. ➤ Les climats et leurs effets ➤ Importance de l'eau sur la terre. ➤ Ecologie ➤ Structure du globe terrestre ➤ Les problèmes de pollution |
| Premières | <ul style="list-style-type: none"> - Anglais - Géographie - Sciences de la vie et de la terre | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Protection de l'environnement ➤ Gestion des ressources et de l'environnement ➤ La production primaire au niveau des plantes vertes la photosynthèse ➤ Les relations entre les êtres vivants et leur milieu ➤ Protection de l'environnement. |
| Terminale | <ul style="list-style-type: none"> - Anglais - Géographie - Sciences de la vie et de la terre | <ul style="list-style-type: none"> ➤ Développement et environnement ➤ |

Source : programme scolaire du ministère de l'éducation nationale.

Ces thèmes sont déjà présents et étudiés aussi dans les programmes scolaires du niveau collège. Rakotonanahary Adrien, dans son mémoire met en exergue les répétitions des thèmes étudiés en discipline histoire au collège et au lycée, mais cela est aussi valable pour d'autres matières comme la géographie et les sciences de la vie et de la terre.

Tableau 2 : un tableau comparatif des thèmes traités au collège et au lycée qui met en évidence des points communs entre eux.

| Matière | | Thème | | |
|----------------------------------|------------------|--|---|----------|
| | | Collège | Lycée | |
| Géographie | 6 ^{ème} | <ul style="list-style-type: none"> - Planète terre - Relief - Climat - Cycle de l'eau | <ul style="list-style-type: none"> - Planète terre - Relief - Climat - Cycle de l'eau | Seconde |
| Science de la vie et de la terre | 5 ^{ème} | <p>Ecologie : les êtres vivants et leur milieu :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etude du milieu terrestre et d'un milieu aquatique - Protection du milieu naturel | <p>Ecologie : les êtres vivants et leur milieu :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Etude du milieu terrestre, milieu aquatique et milieu marin. - Quelques problèmes liés à l'environnement | Première |
| | 4 ^{ème} | Géologie : structure du globe terrestre | Géologie : structure du globe terrestre | Seconde |

Source : programme scolaire 6^{ème}, 5^{ème}, 4^{ème}, 3^{ème}, 2nd, première, terminale.

De plus l'EE se manifeste déjà dans les collèges et même les classes primaires par la matière **éducation civique** qui est traitée dès l'entrée en 6^{ème} et même dans les classes primaires et se termine en 3^{ème}. Par cette matière, dès les plus bas âges, les élèves apprennent à aimer leur patrie, à se comporter en citoyen responsable connaissant ses droits et ses devoirs, à analyser et évaluer des situations pour lui permettre de faire son choix dans le respect des autres et des valeurs culturelles, économiques et sociales communes, et également inventorier les problèmes locaux, nationaux et planétaires de l'environnement et proposer des solutions et de vivre en harmonie avec son environnement.

Il est clair que certains thèmes du DD figurent déjà dans les programmes scolaires du primaire et secondaire malgache. C'est tout à fait justifié car cela fait plusieurs générations que ce concept est né et a pris forme, bien qu'il ne soit nommé que depuis les années 1980. Cependant on ne les ressent pas dans la vie quotidienne des malagasy. Actuellement Madagascar est tristement célèbre à cause des trafics illicites d'espèces animales et végétales dont, entre autres, le trafic de bois de rose, sans parler de la corruption qui détruit notre pays. Tout cela implique un besoin profond en EDD.

De nos jours l'EDD se présente comme un impératif pour toute société soucieuse du bien-être de ses populations, de l'équilibre de la planète et de l'épanouissement des générations futures tant sur le plan moral que matériel. Donc une généralisation d'une éducation au développement durable à l'école s'impose afin d'appréhender la complexité du monde dans ses dimensions scientifiques, éthiques et civiques et de pouvoir agir en citoyen responsable.

Afin de former de bons citoyens, respectant les autres et les biens communs et de devenir des individus responsables, capables de développer leurs pays et soucieux de prendre soin de leur futur, une révision du programme scolaire s'impose pour que celui-ci s'adapte aux réalités du pays et intègre les thématiques du DD.

Pour notre part, l'option à adopter est de considérer l'EDD non pas comme une discipline à part entière, mais comme quelque chose de transversal¹⁷ dont on devra tenir compte et intégrer dans toutes les disciplines scolaires, à commencer par les disciplines plus disposées à l'accueillir telles que la géographie, les sciences de la vie et de la terre, l'éducation civique mais surtout les sciences physiques et chimiques.

II. Place des sciences physiques et chimiques dans l'EDD :

L'éducation au développement durable est une composante importante de la formation initiale des élèves, pour leur permettre d'acquérir des connaissances et des méthodes nécessaires pour se situer dans leur environnement et d'y agir de manière responsable.

Cette éducation est plus particulièrement portée par les disciplines comme les sciences de la vie et la terre et la géographie et l'éducation civique, puisque les problèmes liés au développement et à la durabilité des ressources naturelles se trouvent au cœur de leurs enseignements. Cependant, le développement des connaissances en sciences physiques, des

¹⁷Transversale : qui recouvre plusieurs domaines de connaissance

méthodes et des techniques dans de nombreux domaines (chimie analytique, chimie organique, chimie minérale, électricité, thermodynamique,...) est indispensable au développement des innovations nécessaires à l'amélioration des conditions de vie pour un véritable développement durable : « la recherche et le développement font largement appel à la contribution de la physique et de la chimie ».

Comme l'EDD ne constitue pas une nouvelle discipline mais s'appuie sur les enseignements disciplinaires¹⁸ et aussi sur le croisement des apports de plusieurs disciplines ; les enseignements de sciences physiques et chimiques trouvent logiquement sa place dans l'EDD. Elles sont classées parmi les disciplines impliquées par ce concept de développement durable

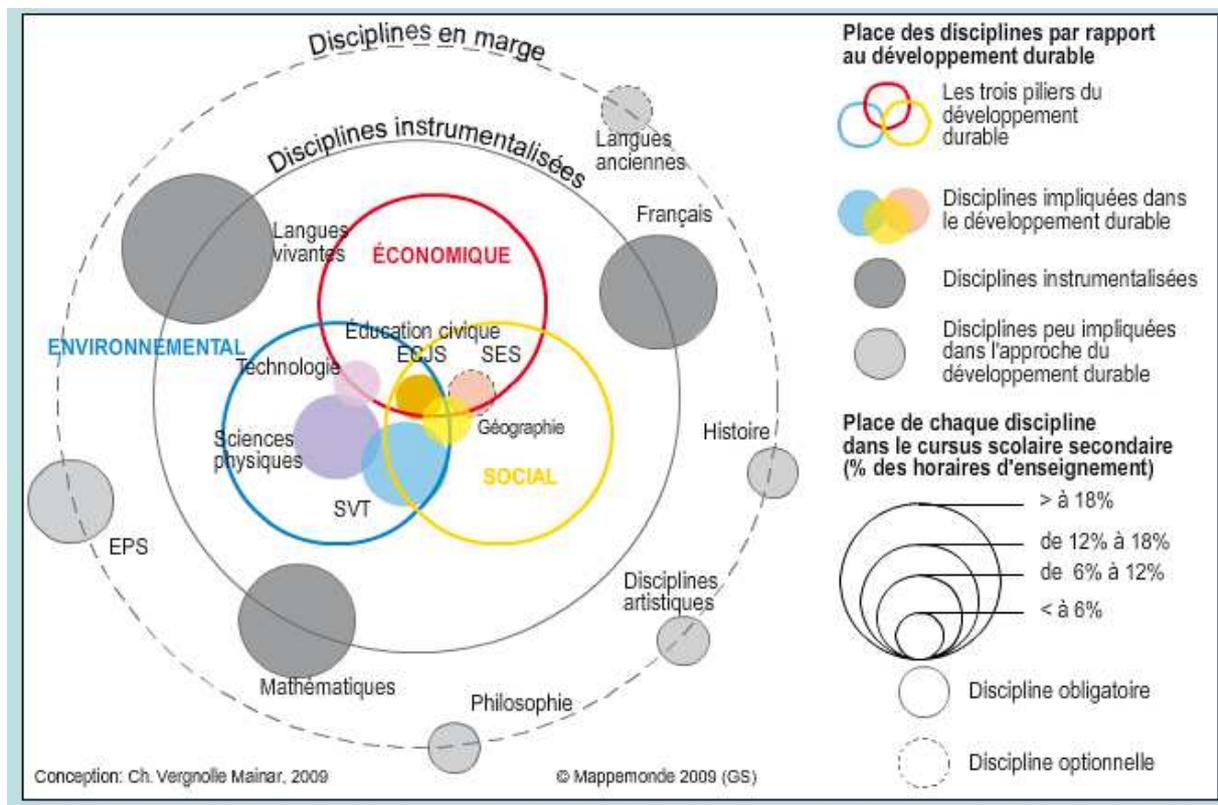


Figure 2 : les disciplines scolaires et les trois piliers du DD

Source : Mainar, 2009

Selon la figure, les sciences physiques font partie des disciplines incluses dans les trois piliers du développement durable, dans le cercle en bleu correspondant au pilier « environnemental », au même titre que la SVT et la technologie. Mais la couleur gris clair

18

les classe parmi les disciplines peu impliquées dans l'approche du développement durable du mois en 2009. Depuis le projet EDD est clairement intégré dans la plupart des disciplines du secondaire notamment en Suède, en Australie, au Sénégal au Cameroun, en France et dans plusieurs pays du monde entier. (UNESCO, 2011).

En France par exemple, les sciences physiques et chimiques y participent pleinement dans les contenus disciplinaires en mentionnant surtout les compétences visées pour les élèves qui sont : « d'acquérir des connaissances et des méthodes pour se situer dans l'environnement et d'y agir de manière responsable notamment dans le domaine de l'énergie et la chimie ». (UNESCO, 2011).

Plus précisément, pour éveiller l'esprit critique des élèves afin d'imaginer des solutions et d'agir de manière responsable vis à vis de l'environnement, les connaissances apportées par les programmes de sciences physiques et chimiques sont porteuses de questions notamment dans le domaine de l'énergie et de la chimie qui sont:

- Celles des gestes quotidiens, pour lesquels, au laboratoire, on peut s'interroger sur les traitements des produits chimiques utilisés, la manière de les retraiter, leur devenir et leur impact sur l'environnement.
- Celles plus globales, de l'étude de l'énergie qui renvoie à la durabilité des productions actuelles, à leurs ressources, à la façon de les utiliser, aux conséquences pour le quotidien de chacun (cette question se pose aussi pour n'importe quelle matière première).

Pour résumer, l'EDD peut être conçue de plusieurs manières. Elle peut être considérée comme une « éducation à » centrer sur l'acquisition de comportement adaptés, sur l'apprentissage de gestes éco citoyennes et la connaissance des « bonnes pratiques ». (Lange, 2008). Aux quelles l'école joue un rôle important, et que chaque discipline scolaire doit y participer activement car l'EDD ne doit pas être considérée comme une discipline à part entière. Elle peut être aussi considérée comme une approche résolument centrée sur une « éducation d'habitus » (Martinand, 2007), pour un changement de comportement au niveau des individus qu'ils soient enfants ou adultes, étudiants, enseignants, démunis, handicapés, investisseurs et opérateurs économiques et surtout les élus. Elle exige une coopération intense de tout le monde mais surtout un engagement et une volonté politique des dirigeants.

PARTIE III : INTEGRATION DE LA CHIMIE VERTE DANS LE PROGRAMME DES SCIENCES PHYSIQUES NIVEAU TERMINALE S.

Cette troisième partie consiste à la présentation de la fiche pédagogique que nous avons élaborée pour intégrer la chimie verte dans le programme de chimie classe terminale scientifique.

Il convient de signaler que la dite intégration nécessite une révision plus approfondie de l'ensemble du programme de chimie. Notre première suggestion sera de le placer suite au chapitre sur la chimie organique et avant d'entamer la chimie minérale. Toutefois, pour ne pas provoquer une forte augmentation du volume horaire, une révision des méthodes devrait accompagner l'intégration de ce thème sur la chimie verte.

Avant de présenter la fiche pédagogique proprement dite, il nous paraît d'abord important de connaître ce que pensent les acteurs principaux pour la mise en œuvre du projet, à savoir les enseignants. Nous avons alors décidé de mener un entretien auprès des enseignants du lycée Moderne Ampeliloa. C'est un établissement que nous avons choisi particulièrement, car notre accès y est facile dans la mesure où nous y avons réalisé notre stage de responsabilité.

I. Entretien :

L'objectif de l'entretien est de connaître tout d'abord les connaissances des enseignants sur ce thème ainsi que leurs avis sur l'introduction du concept dans le programme des sciences physiques niveau terminales S. Ensuite, il s'agira de s'informer et discuter sur les moyens qu'ils pensent appropriés pour traiter ce concept. En dernier lieu, l'entretien vise à identifier les potentiels (forces, faiblesses, opportunités, contraintes) liés à ce projet.

I.1. Méthodologie :

Nous avons choisi les enseignants, car, selon nous, ils sont les mieux placés pour entrevoir les difficultés à la réalisation d'un tel projet et surtout ce sont eux qui sont les éléments moteurs à la mise en place de ce genre d'activités dans l'établissement scolaire.

En outre, le choix de la classe de terminale scientifique pour la réalisation de ce projet réside sur les raisons suivantes :

Même si la chimie verte n'exige que peu de nouvelles connaissances, elle requiert toutefois des bases en chimie que seules les classes terminales scientifiques possèdent. Aussi, la

connaissance de l'utilité et l'importance de la chimie à travers le concept de chimie verte influencera l'élève pour l'orientation du choix de filière après le bac, afin d'occuper les « emplois vert » de demain et d'assurer un développement durable pour notre pays. Enfin et non le moindre, les classes supérieures dans les niveaux secondaire sont considérées comme des modèles à suivre et à respecter, les aînés ayant des attitudes écologiques influenceront et enseigneront facilement ces acquis aux cadets.

Il est important aussi de souligner que notre entretien est plutôt d'ordre qualitatif que quantitatif, car seuls deux enseignants des sciences physiques et chimiques du LMA ont accepté de répondre à notre requête.

Pour un bon déroulement, une fiche d'entretien a été élaborée pour servir de guide et pour faciliter l'analyse des différentes réponses à l'issue de cet entretien (cf. annexe 1). Ensuite, cette fiche a été remise aux deux enseignants trois jours avant le remplissage qui a été effectué ensemble lors de l'entretien qui s'est déroulé le 01 Aout 2016.

I.2. Résultat de l'entretien :

Les principaux résultats que nous avons obtenus lors de ces entretiens avec les enseignants convergent autour des trois principaux points. Le premier, concerne les connaissances des enseignants à propos de la chimie verte. Le second point nous permet de connaître leurs avis sur la proposition d'introduire ce thème dans le curriculum de la classe de terminale S. Enfin troisièmement, les éléments qui faciliteraient ce projet mais aussi les problèmes que rencontreraient les enseignants sur l'introduction de ce concept dans le programme de classe de terminale S sont évoqués.

I.2.1. Les connaissances des enseignants à propos de la chimie verte :

Comme c'est un nouveau concept, l'un des enseignants enquêtés n'a jamais entendu parler de la chimie verte ; tandis que l'autre à confondu avec la chimie du végétal¹⁹ qui est englobé dans la chimie verte.

Mais même si ces deux concepts n'existent pas dans le programme scolaire, les enseignants affirment après quelques brefs échanges et explications que ce sont des thèmes intéressants et utiles aussi bien en information qu'en connaissance, autrement dit, pour le

¹⁹La **chimie du végétal** est l'un des 12 principes de la chimie verte. Elle repose sur l'utilisation de ressources végétales en remplacement des ressources fossiles pour la fabrication de produits chimiques.

développement de la culture générale des élèves. Donc il serait nécessaire de les intégrer dans les programmes.

I.2.2. Avis des enseignants sur la proposition d'introduire ce thème dans le curriculum de la classe de terminale S.

Pour ces deux enseignants le programme de chimie à Madagascar doit être actualisé. Ils s'accordent à dire que la chimie verte rendra l'enseignement de chimie plus attrayant et plus concret car ce concept ne se limite pas tout simplement à des contenus académiques.

Aussi, ils affirment qu'il est important de connaître comment traiter les produits chimiques, quels sont leur devenir et quels sont leur impact sur l'environnement. Ce sera un atout pour faire face aux problèmes environnementaux surtout la gestion des produits chimiques en vue de la sécurité problèmes, la gestion des déchets dangereux et la gestion des différentes sources de pollution chimique. Ce sont des défis environnementaux auxquels la communauté actuelle est confrontée.

Enfin, comme Madagascar ne possède pas encore d'industrie chimique développé mais un potentiel en agriculture importante (>60% de la population), il est donc tout à fait envisageable de valoriser les sous-produits de l'agriculture pour servir d'alternative bio-sourcée aux ingrédients produits à partir de matériaux fossiles. Les produits bio-sourcés très convoités par les industriels européens pour la chimie fine²⁰. Donc, selon les deux professeurs enquêtés, pour motiver et éveiller l'esprit critique des jeunes pour la recherche afin d'assurer un développement durable, et surtout plus tard, de développer leur propre industrie pour la valorisation de ces matières premières, l'introduction de la chimie verte dans les programmes de terminale S serait indispensable.

On peut aussi ajouter que ce nouveau concept sera un atout majeur pour réduire le dégoût et les pensées négatives de la chimie auprès des élèves mais surtout de montrer l'importance de son utilité dans la vie quotidienne.

²⁰La **chimie fine**, ou chimie de spécialité, est une division de l'industrie chimique qui synthétise des produits répondant à des besoins très spécifiques (exemples : pesticides, pigments, arômes et cosmétiques).

I.2.3. Les éléments facilitateurs et les problèmes potentiels liés à l'introduction de ce concept dans le curriculum de la classe de terminales S.

Selon les enseignants enquêtés, la volonté politique est le pivot qui faciliterait ce projet car tout dépend de la volonté des décideurs. L'aide des diverses institutions par l'attribution des ressources pédagogiques telles que les livres, les documents ou des ressources financières faciliterait aussi la réalisation de ce projet. Mais tous les efforts seront vains sans l'implication de tous les acteurs pédagogiques.

Outre les points évoqués ci-dessus, le manque de matériels (vidéo projecteur, ordinateur,...) sans parler du manque de formation des enseignants, peut être un obstacle pédagogique. Aussi, les enseignants affirment que la difficulté en français des élèves sera un obstacle majeur pour la réalisation de ce projet, ajouté aux problèmes causés par l'augmentation du volume horaire.

I.2.4. Forces et faiblesse du système scolaire face à l'intégration de l'EDD dans les écoles du 2nd cycle du niveau secondaire.

L'éducation au développement durable est une nouvelle vision de l'éducation. De ce fait les professeurs sont intéressés à l'idée que de nouvelles compétences pour les élèves qui lui sont utiles dans la vie quotidienne soient intégrées dans les programmes scolaires. Aussi, ils sont touchés à l'idée qu'une innovation de l'enseignement soit entreprise, cela par de nouvelles stratégies d'enseignement simple et facile comme les débats, les animations, les fictions,...

Enfin, les enseignants affirment qu'un tel projet motivera les élèves à apprendre et par conséquent réduira et même éliminera l'abandon scolaire. On peut aussi ajouter que l'aboutissement de ce projet favorisera l'accessibilité des élèves aux avancées technologiques (comme les ordinateurs) dans les établissements des niveaux secondaires.

Cependant, comme l'EDD n'est pas encore intégré dans les programmes scolaires Malgache, l'absence des ressources pédagogiques, didactiques, financières et structurelle serait un frein pour ce projet. Cela entraînera inévitablement l'indifférence de certains enseignants et acteurs pédagogiques sur ce projet.

En conclusion, les entretiens réalisés auprès des enseignants de sciences physiques et chimiques ont révélé que ces derniers sont enthousiastes à l'idée qu'une mise à jour soit effectuée au niveau du programme de chimie. De ce fait l'introduction de la chimie verte donne de nouvelles compétences pour les élèves, et il s'avère nécessaire qu'elle soit intégrée dans le programme même si les enseignants ne disposent pas encore assez de connaissances sur ce thème.

De plus ces entretiens ont permis de mettre en exergue les difficultés que pourront rencontrer les enseignants mais surtout le projet proprement dit. Ces problèmes proviendraient surtout du manque de volonté des décideurs politiques pour la révision des programmes afin que celles-ci s'adaptent à la réalité du pays et intègrent les thématiques du DD. Ces problèmes relèvent également des besoins importants requis en ressources matérielles et financières.

Par ailleurs, il faut mentionner que des opportunités telles que la nombreuses des bailleurs de fond prêts à promouvoir l'EDD est à saisir. Ce projet serait une occasion favorable d'impliquer les leaders et parties prenantes dans notre pays pour l'amélioration de l'éducation, mais surtout d'ouvrir de nombreux partenariat entre l'Etat, les entreprises et les écoles. Ce projet est aussi perçu comme une opportunité de renouveler les pratiques pédagogiques. Or, cela exige impérativement l'implication des enseignants même si les tâches s'alourdissent.

Aussi, l'entretien a montré un fort besoin de formation pour les enseignants et tous les acteurs pédagogiques concernés par ce projet.

Pour que ce projet soit donc bien développé que ce soit sur le plan politique, ou sur le plan pédagogique, un dialogue doit s'établir, d'une part, entre enseignant de sciences physiques, et d'autre part, entre enseignants et décideurs.

II. Elaboration du fiche pédagogique :

Les résultats des enquêtes ont été pris en compte dans la réalisation de notre fiche pédagogique.

Cependant la réalisation de cette fiche a été influencée par les quatre grands points énoncés ci-dessous.

- Premièrement, elle se base sur « *l'éducation à* » qui vise la connaissance des « bonnes pratiques » dans la vie quotidienne sur les produits chimiques (Lange, 2008). Lors des achats d'engrais chimique par exemple privilégier les produits biostels que les engrais Gouanomad. Ce sont des gestes simples et faciles mais qui contribueront à lutter contre la pollution planétaire.
- Deuxièmement, comme la chimie verte est un concept en relation avec le développement durable, les techniques d'enseignement de l'EDD comme les contes et les simulations sur ordinateur sont proposées et introduites.
- Troisièmement, trop souvent la chimie est représentée soit seulement comme des symboles ou des formules chimiques compliquées, soit associée à des usines polluantes, des produits chimiques dangereux, des chimistes fous qui créent des bombes et autres composés explosifs, soit à l'environnement froid d'un laboratoire. Des constatations négatives prédominant dans ces représentations renvoient à des craintes du danger que génère l'activité chimique mais aussi à l'expérience scolaire vécue négativement, liée à un fort sentiment d'incompréhension. La formulation des objectifs de cette fiche pédagogique a été alors guidée par une volonté de redorer ces images négatives et d'améliorer l'enseignement de la chimie.
- L'élaboration de l'évaluation s'est basée sur la taxonomie de Bloom (cf. Annexe 3).

Il est important de signaler les codages utilisés suivants :

- **Q** signifie question posée par l'enseignant, **RA** correspond aux réponses attendues ;
- **OS** correspond aux objectifs spécifiques à atteindre.

FICHE PEDAGOGIQUE :initiation à la chimie verte.

Matière : physique chimie

Classe : Terminale S

Cours de : CHIMIE

Durée :10 heures

Objectifs généraux : A l'issue des activités, l'élève doit être capable :

OG₁ : d'expliquer le concept de chimie verte afin de réduire le dégoût et les pensées négatives de la chimie auprès des élèves et afin qu'ils participent à la protection de la planète.

OG₂ : de reconnaître les différentes utilités et l'importance de la chimie dans la vie quotidienne.

Objectifs spécifiques :l'élève doit être capable de :

OS₁ : définir la chimie verte.

OS₂ : inventorier les ingrédients nécessaires pour une synthèse chimique (ou une réaction chimique).

OS₃ : énoncer les étapes d'une réaction chimique

OS₄ : énoncer, comment créer une chimie verte et durable.

OS₅ : démontrer pourquoi utiliser de nouvelles matières premières.

OS₆ : citer de nouveaux exemples de solvants utilisés en chimie verte et expliquer pour quelles raisons on les utilise.

OS₇ : définir un catalyseur et démontrer pourquoi ce procédé est important en chimie verte.

OS₈ : énoncer et calculer puis interpréter les notions d'économie d'atome E_{At} et du facteur environnemental E.

OS₉ : identifier des moyens utilisés par les chimistes pour éviter le danger dès le début d'une réaction chimique.

OS₁₀ : décrire les bons comportements pour protéger la planète en optant pour des produits bio, à ne pas utiliser abusivement les produits chimiques, à ne pas gaspiller les ressources d'énergie et à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre.

Prérequis :

- Notion de développement durable. (définition, objectifs, origine, etc.)
- Notion sur les réactions chimiques (solvant, solution, nombre de mole, équilibre réaction chimique, etc.)
- Utilisation des réactions chimiques pour résoudre les problèmes de chimie : écrire la relation de proportionnalité entre le nombre de mole et les coefficients stœchiométriques afin de déterminer la quantité de matière lors d'une réaction chimique.
- Notion de rendement. (définition du rendement chimique)
- Notion de catalyseur.
- Réaction de saponification.

Matériels didactiques : craies, tableau, éponge, vidéoprojecteur, ordinateur, calculatrice, photocopies d'exercice et de texte.

Plan de la séquence d'enseignement/apprentissage :

INTRODUCTION

I- DEFINITION DE LA CHIMIE VERTE.

II- SYNTHÈSE CHIMIQUE

- 1- Définition
- 2- Les étapes d'une synthèse chimique.

III- SYNTHÈSE EN CHIMIE VERTE

- 1- Les 12 principes de la chimie verte.
- 2- Intégration de ces principes dans les étapes d'une synthèse chimique pour créer une chimie verte et durable.
 - a- Les matières premières
 - ✚ Utiliser des matières premières renouvelables.
 - ✚ Utilisation du CO₂.
 - b- Remplacer les solvants toxiques et dangereux.
 - c- Economie d'énergie.
 - d- Economie d'atomes :
 - ✚ Utilisation atomique UA
 - ✚ Facteur environnementale E
 - e- Eviter le danger dès le départ.

CONCLUSION

| Contenu | Stratégies |
|---|---|
| OS₁ : définir la chimie verte, 45mn. | |
| <p style="text-align: center;">LA CHIMIE VERTE</p> <p><u>INTRODUCTION :</u></p> <p>La chimie est la science qui étudie la composition, les réactions et les propriétés de la matière en se penchant sur les atomes qui composent la matière et leurs interactions les uns aux autres.</p> <p>Grace à l'industrie chimique, la fabrication des molécules et des matériaux qui nous sont indispensables dans la vie quotidienne comme les médicaments, les plastiques, carburants, les engrais, les pesticides, les tissus synthétiques, etc, est réalisable.</p> <p>Cependant, accidents d'usines chimiques, épuisement des ressources, nombreuses pollutions nuisibles pour l'homme et l'environnement... sont autant d'ennuis qui ont obligé l'industrie chimique à réagir.</p> <p>Face à l'urgence de sa transformation exigée par la société, les chercheurs doivent trouver des solutions pour créer une chimie plus propre et plus sûre mais qui reste compétitive.</p> <p>I- <u>DEFINITION :</u></p> <p>La chimie verte est une nouvelle façon de faire la chimie. C'est une chimie</p> | <p><u>Activité 1 :</u></p> <p>On pourra introduire la notion de chimie verte par une lecture d'un texte fiction :</p> <p>«Et si les chimistes arrêtaient tout ». (annexe 4).</p> <p>La polycopie a été déjà distribuée une semaine avant la séance (on a demandé de souligner les phrases non comprises). Elle sera relue ensemble en classe.</p> <p><u>Activité 2 :</u></p> <p>Poser des questions pour dégager de la fiction l'importance de la chimie (20min)</p> <p>Q₁: en l'absence des chimistes, donnez les changements qui se sont produits dans la vie quotidienne de la société.</p> <p>RA₁ :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Dans le domaine de la santé plusieurs maladies reprennent le dessus, causées par le manque de médicament. - Les carburants, les pneus usés, le mauvais état des routes faute de goudrons, limitent les déplacements des concitoyens. - Dans le domaine de l'habillement, les fibres artificielles ayant disparu, la variété de structure qu'elles permettaient de réaliser (protection du froid, de la chaleur, résistance aux intempéries,...etc.) ont disparu également. |

| | |
|--|--|
| <p>complètement repensée en termes d'impact sur l'environnement, de rentabilité économique, mais surtout d'intérêt pour la société.</p> <p>Le terme chimie verte (ou durable) renvoie vers une façon de pratiquer la chimie, à savoir, tenir compte de l'impact que les processus chimiques effectués ont sur les générations (humains) actuelles et futures, sur la nature et sur l'environnement.</p> <p>Elle a pour but de concevoir des produits et des procédés chimiques permettant de réduire et d'éliminer l'utilisation et la synthèse de produits dangereux.</p> <p>La chimie verte cherche à réduire et à éviter la pollution depuis sa source.</p> | <p><u>Explication professeur :</u></p> <p>Avant de reprendre leurs activités, les chimistes ont conclu des accords, et en contrepartie, ils s'engagent à mettre en place des politiques de civilisation durables, respectant l'homme et son environnement garantissant les effets positifs du progrès aux générations futures.</p> <p>C'est ainsi que le concept de « chimie verte » est né.</p> <p><u>Activité 3 :</u></p> <p>dicter l'introduction et la définition (15mn).</p> |
| <p style="text-align: center;">OS₂ : inventorer les ingrédients nécessaires pour une synthèse chimique (ou une réaction chimique),15mn.</p> | |
| <p>II- <u>SYNTHESE CHIMIQUE :</u></p> <p>1- <u>Définition :</u></p> <p>La synthèse chimique est un enchainement de réactions chimiques mises en œuvre volontairement par un chimiste pour l'obtention d'un ou de plusieurs produits finaux.</p> <p>Synthétiser une espèce chimique ou un produit chimique signifie la produire à partir de réactifs (ou ce que l'on appelle généralement matières premières).</p> <p>Chaque étape d'une synthèse chimique</p> | <p><u>Activité 4 :</u> procéder à une séance d'animation à partir de questions :</p> <p>Q₂ : Mais comment les chimistes créent-ils les produits utilisables dans la vie quotidienne?</p> <p>RA₂ : Pour obtenir ces différents produits utilisables dans la vie quotidienne. les chimistes effectuent une synthèse chimique.</p> |

| | |
|---|--|
| <p>met en œuvre une réaction chimique, pour cela il faut :</p> <ul style="list-style-type: none"> ✚ Des réactifs ainsi que leur quantité de matière. ✚ Un solvant dans lequel les réactifs ont une bonne solubilité. ✚ Un catalyseur pour accélérer la réaction. ✚ Bien déterminer les conditions dans lesquelles les réactions chimiques sont mises en œuvre (la température, la pression, l'éclairement, le réacteur) de manière à obtenir un bon rendement au cours de la synthèse. | <p>Donc pour concevoir un produit chimique, il faut connaître d'abord la synthèse chimique puis les ingrédients nécessaires pour réaliser une synthèse chimique.</p> <p>Dicté la définition et les ingrédients nécessaires pour une synthèse chimique.</p> <p>Ensuite il faut connaître aussi les étapes d'une réaction chimique.</p> |
| <p>OS₃ : énoncer les étapes d'une réaction chimique, 45 mn.</p> | |
| <p>2- <u>Les étapes d'une réaction chimique :</u></p> <p>Une réaction chimique se fait en quatre étapes :</p> <p><u>Etape 1 :</u></p> <p>Partir des matières premières qui après traitement fournissent les molécules ou réactifs nécessaires pour une réaction chimique et des matériel nécessaire pour réaliser la manipulation.</p> | <p><u>Activité 5:</u></p> <p>Pour aider les élèves à retrouver les étapes d'une réaction chimique on peut effectuer un TP sur la synthèse d'un produit chimique simple qu'ils connaissent :</p> <p>Le savon par exemple.</p> <ul style="list-style-type: none"> ● <u>Avant la manipulation :</u> <p>Le professeur rappelle que la fabrication du savon est une réaction de saponification, c'est-à-dire une réaction entre un ester et une base alcaline. Le sel formé à partir de l'ion carboxylate obtenu constitue le savon.</p> <p>Ensuite, la série de questionnement suivant sera posée aux élèves</p> |

Etape 2 :

La mise en solution dans un solvant pour dissoudre les différents réactifs.

Etape 3 :

L'apport d'énergie pour que la réaction s'effectue.

Etape 4 :

Récupération des produits et gestion des déchets.

Q₃ : Sachant que les acides gras sont des esters naturels, donner deux matières premières de base nécessaires pour la fabrication d'un savon.

RA₃ : On a besoin d'acide gras (ex : l'huile d'olive) et de la soude (NaOH).

Complément pour les élèves :

L'éthanol est ici le solvant approprié pour dissoudre ces deux matières premières principales.

Q₄ : Sachant que la saponification est une réaction chimique assez lente et exothermique, pour accélérer la réaction, l'apport d'énergie par chauffage est nécessaire. Quels sont les matériels nécessaires pour la fabrication d'un savon ?

RA₄ : pour fabriquer du savon on a besoin : d'un ballon, d'un chauffe ballon et de pierre ponce.

Complément pour les élèves :

Pour éviter la perte de matière par évaporation notamment du solvant, il est recommandé d'utiliser un réfrigérant. Un support élévateur est aussi nécessaire pour faciliter la manipulation des matériels.

Activité 6 :

- **Manipulation :**

Diviser les élèves en fonction du nombre de matériels présents dans le laboratoire de l'école, sinon prendre seulement deux volontaires pour faire la manipulation. Pour fabriquer du savonsuivre le protocole suivant :

Dicter les étapes avant de réaliser les activités correspondantes.

Les synthèses chimiques peuvent avoir lieu à toutes les sortes d'échelle: du laboratoire de recherche (de l'ordre du gramme ou moins) à l'industrie chimique (souvent de l'ordre de tonne ou plus), mais ils sont souvent utilisés à l'échelle industrielle pour produire des substances que l'on retrouve dans les médicaments, l'alimentation, les tissus, les produits d'hygiène et d'entretien dans les produits de beauté etc.....

Activité 6-1 :(Etape 1)

- D'abord prélever 30 ml d'huile d'olive.
- Ensuite, dissoudre 2 g de NaOH dans 30 ml d'eau.
- Puis mélanger le tout dans un ballon.

- Explication :

L'acide gras qui est ici l'huile d'olive va fournir l'ester : matière première principale pour la fabrication de savon.

Le ballon est appelé le réacteur, c'est dans le réacteur qu'on introduit les espèces chimiques qui vont réagir ;

C'est le lieu où la réaction va se produire.

Avant de passer à la manipulation suivante, demander aux élèves l'aspect du mélange.

On observe un mélange hétérogène.

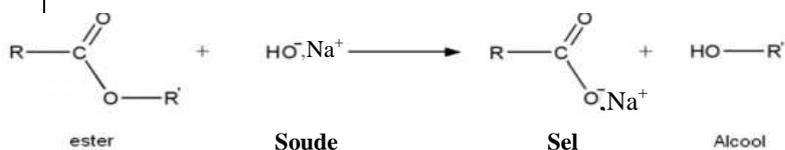
Activité 6-2 :: (Etape 2)

Verser, 60ml d'éthanol, puis agiter le ballon.

- Explication :

L'éthanol va servir de solvant pour dissoudre l'ester présent dans l'acide gras et les ions hydroxydes pour former les ions carboxylates dont le sel qui constitue le savon.

Donner aux élèves l'équation de la réaction de saponification généralisée suivante :



Activité 6-3 : (Etape 3)

Comme il a été mentionné plus haut, la réaction se fait à chaud, donc chauffer le ballon à une température comprise entre 80 à 100°C pendant 20 mn.

C'est par l'intermédiaire de l'apport d'énergie par le chauffage du mélange que la rupture de la liaison dans le groupe ester pour former les ions carboxylates s'opère. Aussi l'apport d'énergie est semblable à un catalyseur pour permettre à la réaction de se produire.

Activité 6-4 : (Etape 4)

Enfin, pour récupérer les savons dans la solution ; verser du chlorure de sodium jusqu'à l'obtention d'une couleur blanchâtre qui est le savon, puis filtrer le savon sous forme de précipité blanc. Ici les déchets à gérer sont constitués par les impuretés de l'huile, les excès de réactif (NaOH), les restes de solvant (éthanol) et le produit secondaire R'-OH. Remarquer qu'il s'agit du glycérol.

III- SYNTHESE EN CHIMIE VERTE :

1- Les 12 principes de la chimie verte :

Pour développer une chimie verte et durable, Paul Anastas et John Warner, à la fin des années 90, ont énoncé les 12 principes de base de la chimie verte. Il s'agit de principes ou sortes de mode d'emplois à l'usage des chimistes pour développer une chimie plus respectueuse de l'environnement et qui utilise moins de substances dangereuses.

Ces principes sont les suivants :

- 1- prévention des déchets.
- 2- économie d'atome
- 3- synthèse chimique moins dangereuse.
- 4- utilisation de solvants sûrs.
- 5- création de produits chimiques sûrs.
- 6- amélioration du rendement énergétique.
- 7- utilisation de matières premières renouvelables.
- 8- éviter les étapes inutiles de synthèse.
- 9- utiliser les catalyseurs.
- 10- biodégradabilité : conception de substance non persistante.
- 11- surveillance et adaptation continue des processus : analyse en temps réel de la lutte contre la pollution.
- 13- chimie essentiellement sécuritaire afin de prévenir les accidents.

Activité 7 :

Avant de dicter ces 12 principes, commencer par l'exercice 2, page 74, car sachant les étapes de la réaction chimique les élèves devraient être capables de l'effectuer.

On donne 20 minutes aux élèves pour le traité.

Ensuite, lors de la correction pour inciter les élèves à participer, questionner plusieurs élèves sur chaque principe. Si les élèves sont bloqués, les diriger à l'aide d'explications.

Pour ceux qui ont encore des difficultés à comprendre ces principes.

On peut procéder comme suit :

2- Intégration de ces principes dans les étapes d'une synthèse chimique pour créer une chimie verte et durable.

Quelques-uns de ces principes notamment les principes 7, 4, 9, 2, 1, 12, 3, 5 sont développés et appliqués pour découvrir comment la chimie verte s'intègre dans les étapes de la réaction chimique.

a- Les matières premières :

✚ Utiliser des matières premières renouvelables :

L'industrie chimique reste aujourd'hui fortement dépendante des ressources fossiles (les hydrocarbures, les gaz naturels) dont elle tire la majorité de ses matières premières pour la fabrication des matériaux qui nous sont indispensables dans la vie quotidienne.

Du fait de la raréfaction et la hausse des coûts de ces ressources fossiles et aussi les impératifs environnementaux auxquels la société d'aujourd'hui doit faire face; le recours à des matières premières renouvelable est indispensable.

L'une des principales thématiques des recherches consiste à élaborer des molécules biodégradables, c'est-à-dire les matières premières sont d'origines végétales. Les molécules, qu'elles soient issues du pétrole

D'abord demander à un volontaire de rappeler les étapes d'une réaction chimique.

Introduire par la question :

Q₆ : quel principe de la chimie verte introduit l'utilisation de matières premières renouvelables.

RA₆ : 7^{ème} principe.

Activité 8 : pour plus de compréhension, on peut visionner des vidéos ou montrer des images sur la pétrochimie mais ici on a choisi de passer le film d'animation :

Pétrochimie. (15mn)

Activité 9:

faire les applications sur cette animation. (5mn)

Pour retrouver les animations présentes dans ce mémoire voir webographie page 90.

Activité 10 :

Pour bien illustrer cette partie du cours, on pourrait effectuer une visite d'usine comme par exemple la société GASYPLASTE qui se trouve dans la commune d'Ambohimalaza et qui fabrique des sachets plastiques à partir de granulés d'amidon de manioc.

ou des plantes restent les mêmes. La seule différence, c'est que les chaînes carbonées issues des huiles végétales présentent une structure qui se dégrade plus facilement dans la nature.

Comme exemples on peut citer :

- L'huile de corossol obtenue à partir des graines de corossol ; il est utilisé pour obtenir des biocarburants.
- L'huile obtenue avec les sous-produits de la mangue utilisée pour les biocarburants est une matière de base pour la chimie verte.
- L'huile de tournesol
- Les biocarburants obtenus à partir des algues.

La technologie d'aujourd'hui permet le tri de matière première à partir de sources végétales. A l'aide des membranes dites nanofiltrations, la séparation des différentes molécules utilisées par les industries chimiques est réalisable.

Recyclage du CO₂ :

Le dioxyde de carbone CO₂ est le principal gaz à effet de serre, les émissions de CO₂ dans l'atmosphère sont à la fois d'origine naturelle (volcan,...) et anthropique (issue des activités humaines). Il constitue un des enjeux majeurs de ce début de siècle.

Le captage et le stockage du CO₂

Si ceci s'avère difficile à réaliser, on suggère de passer l'animation :

Biocarburant de 2^{ème} génération. (5mn)

Activité 11 :

On peut prendre comme application : exercice 3-A, page 76. (5mn)

Activité 12 :

Avant d'entamer cette partie, demander aux élèves de citer des problèmes environnementaux causés par le CO₂ et les principales sources d'émission de CO₂, et leur demander des solutions à ces problèmes.

Parmi les solutions, il y a le captage et le stockage du CO₂.

| | |
|---|--|
| <p>permettraient de solutionner le problème</p> <p>Cependant en complément, les chercheurs réutilisent le CO₂ concentré issu principalement du secteur industriel en tant que matière première pour la fabrication de polymères ou plastiques et de divers produits utilisés dans la chimie, la pharmacie, la parfumerie, le textile ou l'agroalimentaire.</p> | <p>Activité 13 : A titre d'information ; Passer l'animation : <i>réduction de CO₂</i>.</p> <p>la solution proposée par les chimistes est de réutiliser le CO₂ comme matières premières.</p> <p>Activité 14 : Faire l'application <i>Exercice 3-B, page 76.</i> (5mn)</p> |
| <p>OS₆ : citer de nouveaux exemples de solvants utilisés en chimie verte et expliquer pour quelles raisons on les utilise, 30mn.</p> | |
| <p>b- <u>Remplacer les solvants toxiques et dangereux :</u></p> <p>Unsolvant est une substance liquide qui a la propriété de dissoudre, de diluer ou d'extraire d'autres substances sans les modifier chimiquement et sans lui-même se modifier.</p> <p>Les solvants appartiennent à deux familles :</p> <ul style="list-style-type: none"> - Les solvants organiques (ex : alcanes, alcènes, benzènes, etc.) - Les solvants aqueux (ex : l'eau) <p>On utilise généralement un solvant :</p> <ul style="list-style-type: none"> - pour séparer un composé d'un mélange complexe (extraction et purification). - comme nettoyant dans les industries chimiques et les laboratoires. - élément important dans la production de composés organiques et synthétiques. <p>Dans les industries</p> | <p>On pourra introduire cette partie par la question :</p> <p>Q₇ : quel principe de la chimie verte prévoit de remplacer les solvants toxiques et dangereux.</p> <p>RA₇ : 5^{ème} principe</p> <p>Dicter la définition ci-contre.</p> <p>Activité 15:</p> <p>Pour concrétiser la définition des solvants, si l'école possède un laboratoire on peut réaliser des TP simples sur la dilution, la dissolution ou l'extraction. Sinon passer les films d'animation suivants : (15mn)</p> <ul style="list-style-type: none"> • <i>extraction liquide.</i> • <i>dilution, fusion, dissolution.</i> <p>dicter les principales utilisations de solvant ci-contre. (10mn)</p> |

| | |
|---|---|
| <p>chimiques et dans les laboratoires, les solvants organiques sont très sollicités.</p> <p>Or, la plupart des solvants organiques sont toxiques et dangereux que ce soit pour la sécurité, la santé de l'homme mais aussi pour l'environnement.</p> <p>Remplacer ces solvants toxiques et dangereux figure parmi les principes de base de la chimie verte.</p> <p>Pour ce faire, des nouveaux types de solvant sont utilisés en chimie verte à savoir:</p> <p>les Solvants supercritiques : CO₂ supercritique.</p> | <p><u>Explication professeur:</u></p> <p>Du fait de leur volatilité, les solvants organiques sont souvent classifiés comme des composés cancérogènes et mutagènes en cas d'exposition importante.</p> <p>Ces solvants entraînent aussi la pollution de l'eau, du sol,... bref la destruction de l'environnement.</p> <p><u>Activité 16 :</u></p> <p>A titre d'explication, on peut prendre l'application : <i>Exercice 4 page 77.</i></p> <p>(5mn)</p> |
| <p>OS₇ : définir un catalyseur et démontrer pourquoi ce procédé est important en chimie verte, 15mn.</p> | |
| <p>c- <u>Economie d'énergie</u></p> <p>Pour économiser l'énergie, mais aussi les atomes et le temps, nombreux sont les solutions que les chercheurs en chimie verte développent. Parmi eux la catalyse tient une place de choix.</p> <p>Un catalyseur est une substance solide ou liquide qui augmente la vitesse d'une réaction en abaissant la barrière énergétique, autrement le seuil d'énergie pour permettre à la réaction de se produire. Les catalyseurs provoquent donc une réaction chimique par</p> | <p>Q₈ : Pour économiser l'énergie, nombreuses solutions ont été entreprises par les chimistes, parmi eux la catalyse.</p> <p>Quel principe de la chimie verte introduit la catalyse.</p> <p>RA₈ : c'est le 9^{ème} principe de la chimie verte qui introduit la catalyse.</p> <p><u>Activité 17:</u></p> <p>Prendre comme application : <i>Exercice 5, page 78.</i></p> |

| | |
|---|---|
| <p>sa seule présence ou par son intervention.</p> <p>Le catalyseur permet donc d'économiser de l'énergie et de réduire le temps de réaction.</p> | |
| <p>OS₈ : énoncer et calculer puis interpréter les notions d'économie d'atome E_{At} 45mn et du facteur environnemental E, 1h.</p> | |
| <p>d- <u>Economiser les atomes:</u></p> <p>Pour que la chimie soit durable, c'est-à-dire toutes les matières premières seront accessibles pour toutes les générations actuelles et futures, et surtout, pour que les procédés soit moins polluants et respectueux de l'environnement. Le deuxième principe de la chimie verte introduit la notion d'économie d'atome, c'est-à-dire, optimiser, concevoir des réactions chimiques dans lesquelles les atomes de départ se retrouvent, le maximum possible, dans les produits finaux plutôt que dans les sous-produits.</p> <p>Pour ce faire, de nouveaux indicateurs de l'efficacité des procédés ont été introduits :</p> <ul style="list-style-type: none"> 🚦 L'utilisation atomique « UA » ou économie d'atomes « E_{At} » 🚦 Le facteur environnemental « E ». | <p>Avant de commencer l'économie d'atome, poser la question suivante.</p> <p>Q₉ : A quoi pensez-vous à l'évocation du mot économie ?</p> <p>RA₉ : faire des épargnes, ménager, réduire les consommations, réduire les dépenses.</p> <p>Aussi pour faire des économies il faut des stratégies bien efficaces.</p> <p>Economiser de l'atome signifie donc réduire la consommation d'atome afin que ce dernier soit accessible pour toutes les générations.</p> <p style="text-align: center;"><u>Explication du professeur :</u></p> <p>les nouveaux indicateurs de l'efficacité des procédés de synthèse ci-contre ont été introduits.</p> |

L'utilisation atomique ou économie

d'atomes :

• définition :

Soit la réaction $aA + bB \rightarrow pP + qQ$

avec : $\left\{ \begin{array}{l} A \text{ et } B \text{ réactifs} \\ P \text{ produit principal} \\ Q \text{ sous produit} \\ a, b, p \text{ et } q \text{ coefficients} \\ \text{stoichiométriques} \end{array} \right.$

L'économie d'atomes (E_{At}) ou encore utilisation atomique (UA), peut être définie comme étant le rapport de la masse de produit désiré sur la masse de tous les réactifs utilisés :

$$E_{At} = \frac{p \cdot M(P)}{a \cdot M(A) + b \cdot M(B)}; \quad (I)$$

Dans une réaction sans sous-produit $E_{at}=1$.

Une valeur proche de 1 d' E_{At} met en évidence le peu de perte d'atomes en sous-produits lors de la réaction.

• Exemple :

Dans le cas de l'estérification entre l'acide éthanóique et l'éthanol le sous-produit Q est l'eau.



$$E_{At} = \frac{M(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{CH}_2\text{CH}_3)}{M(\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}) + M(\text{CH}_3\text{CH}_2\text{OH})}$$

$$E_{At} = \frac{72}{90} = 80\% \quad \longrightarrow$$

On définit l'utilisation atomique par UA mais il est important de signaler que certains ouvrages utilisent l'économie d'atome E_{At} .

Mais U_A et E_{At} ont la même définition

Cette formule sera directement donnée,

mais accompagnée par les explications ci-contre.
(5mn)

Activité 18 :

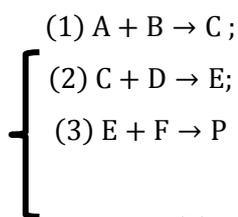
Envoyer un élève au tableau pour traiter l'exemple.

Q₁₀ : écrire la formule d' E_{At} puis interpréter le résultat.

RA₁₀ : Ici on obtient une économie d'atome 0,8 c'est-à-dire proche de 1.

Donc le procédé économise de l'atome. Parmi d'autres réactions cette synthèse est efficace car 80% des atomes se retrouvent dans le produit désiré.

Dans le cas de réactions successives : exemple :



Alors

$$E_{At} = \frac{M(P)}{M(A) + M(B) + M(D) + M(F)}$$

Facteur environnemental « E » ou économie de matière « E_m » :

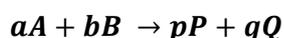
• définition

Le facteur environnemental « E_m » est défini comme le rapport de la masse totale de déchet sur la masse de produit :

$$E_m = \frac{\sum_i (m_{\text{déchets}})_i}{m_{\text{produit}}}$$

Le facteur environnemental « E » met en évidence l'importance de la masse de déchets générés lors d'une synthèse. Sa valeur idéale est la plus faible possible, en tendant vers zéro.

Soit, comme précédemment, une réaction représentée par :



avec : A et B sont les réactifs ; P le produit souhaité et Q un sous-produit.

On définit le facteur environnemental E comme suit :

Ici pour l'illustration on a pris l'exemple d'une réaction sans sous- produit.

Cette formule sera directement donnée mais accompagnée par l'explication.

Le calcul de **E** met en évidence la quantité de déchet produit lors d'une réaction de synthèse.

Pour l'explication le professeur peut demander à l'ensemble de la classe :

Q₁₁ : Que comprendra la masse de déchets.

RA₁₁ : Les masses de déchet comprennent, les masses de A et B non consommées

Donc la masse de déchet est :

$$m_{\text{déchet}} = m(A) + m(B) - m(P)$$

$$E_m = \frac{m(A) + m(B) - m(P)}{m(P)} ; \text{(II)}$$

• **lien entre E_m , E_M et E_{At} :**

✓ Le facteur environnemental molaire E_M (et non massique) peut également être exprimé en fonction des masses molaires :

$$E_m = \frac{m(A) + m(B) - m(P)}{m(P)} ;$$

soit ici

$$E_m = \frac{n(A).M(A) + n(B).M(B) - n(P).M(p)}{n(P).M(P)}$$

Dans le cas d'une **réaction stœchiométrique** :

$n(A)=a$, $n(B)=b$ et $n(P)=p$

a , b et p étant les coefficients stœchiométriques correspondant à la réaction.

$$E_M = \frac{a.M(A) + b.M(B) - p.M(P)}{p.M(P)}$$

$$E_M = \frac{a.M(A) + b.M(B)}{p.M(P)} - 1; \text{(III)}$$

✓ **Lien entre E_M et E_{At}**

Soit les relations(I)et(III) :

$$E_{At} = \frac{p.M(P)}{a.M(A)+b.M(B)} ; \text{ et}$$

$$E_M = \frac{a.M(A) + b.M(B)}{p.M(P)} - 1$$

D'où la relation (II),ci-contre.

Activité 19 :

Envoyer un élève au tableau, puis lui demander :

- d'écrire la relation (II),
- ensuite, d'écrire la relation entre le nombre de mole et la masse.

$$n = \frac{m}{M}$$

- enfin, d'en déduire la masse $m = n.M$, pour déduire la relation facteur environnemental massique en fonction du nombre de mole et de la masse molaire de chaque produit et réactif.

Activité 20 :

Pour trouver la relation définitive entre E_m et E_M , faire écrire la relation ci-contre.

Activité 21 :

Demander à un volontaire de déduire la relation. (III)ci-contre.

Activité 22 :

Demander à un volontaire d'écrire la relation (I)et(III) et de démontrer les relations (IV) et (IV'), encadrés ci-après.

$$\text{Soit } E_M = \frac{1}{E_{At}} - 1$$

$$\text{Donc } E_M = \frac{1 - E_{At}}{E_{At}} \quad (\text{IV})$$

$$\text{et } E_{At} = \frac{1}{1 + E_M} \quad (\text{IV}')$$

• **Généralisation :**

On peut généraliser à l'ensemble de la réaction c'est-à-dire en allant plus loin en incluant les déchets **non récupérés** qui sont : le catalyseur noté C, les solvants de la réaction notés S_i, et les solvants et réactifs pour les traitements post réactionnels notés S_{PRi} et R_{PRi},

Le facteur environnemental en fin de réactions'écrit :

Activité 23 :

Pour plus l'explication on peut prendre comme application : l'exercice 6, page 80.

$$E_{m,PR} = \frac{\sum_i (m_{\text{réactifs}})_i + m(C) + \sum_i m(S)_i + \sum_i m(S_{PR})_i + \sum_i m(R_{PR})_i - m(P)}{m(P)}$$

Pour résumer, l'économie d'atome E_A et le facteur environnemental « E », permettent une meilleure évaluation de l'efficacité des procédés et servent de cadre théorique pour choisir, optimiser les procédés existants et développer de nouvelles stratégies de synthèse, afin d'économiser les atomes et générer le moins de déchets possible.

OS₉ : identifier .les moyens utilisés par les chimistes pour éviter le danger dès le début d'une réaction chimique, **15mn.**

e- **Eviter le danger dès le départ :**

Pour les chercheurs, il s'agit donc de mettre au point de nouveaux procédés, mais aussi de changer leur propre façon de

| | |
|--|---|
| <p>travailler. Lorsqu'un chimiste élabore une réaction ou fabrique un produit chimique, il étudie de près les dangers potentiels connus qu'un produit chimique donné présente pour la santé ou l'environnement avant de l'employer.</p> <p>Autrement dit, les chimistes traitent les dangers posés par une substance donnée comme une caractéristique dont il faut tenir compte, cela à l'égal d'autres caractéristiques chimiques et physiques, et choisissent les substances présentant le moins de risque possible.</p> <p>Par ce 12^{ème} principe, les réactions chimiques seront basées sur des matières non dangereuses limitant ainsi les risques d'exposition aux produits toxiques, mais elles s'attachent surtout à supprimer les dangers liés aux activités chimiques que ce soit pour l'homme ou l'environnement.</p> | <p>Activité 24 :</p> <p>Reprendre l'exemple, valorisation du CO₂ comme matière première pour la fabrication de plastique.</p> <p>Puis poser une question sur ce propos :</p> <p>Q₁₂ : quel principe de la chimie verte introduit la prévention des accidents chimiques, des explosions, des incendies et des émissions de composés dangereuse.</p> <p>RA₁₂ : c'est le 12^{em} principes de la chimie verte qui introduit le développement de chimie essentiellement sécuritaire afin de prévenir les accidents.</p> |
| <p>OS₁₀ : décrire les bons comportements pour protéger la planète en optant pour des produits bio, à ne pas utiliser abusivement les produits chimiques, à ne pas gaspiller les ressources d'énergie et à réduire leurs émissions de gaz à effet de serre, 15mn.</p> | |
| <p><u>CONCLUSION :</u></p> <p>Pour lutter contre la pollution planétaire, la chimie verte est une solution proposée par les chimistes.</p> <p>C'est une chimie complètement repensée car elle utilise des matières premières alternatives comme les biomasses, des</p> | <p>En Europe les produits bio sont clairement identifiés et répondent à des règles strictes d'étiquetage. Toute entreprise ou tout agriculteur doit être contrôlé et certifié selon cette réglementation.</p> <p>Le logo AB ainsi que les logos européens permettent un repérage plus facile.</p> |

réactifs et des solvants moins toxiques et non dangereux pour l'homme et l'environnement.

Tout cela pour obtenir des économies d'atomes, des produits biodégradables et sans danger pour la société ; mais surtout en réduisant les coûts de synthèse par un gain de temps et d'énergie.

A l'avenir, connaître ces étapes de synthèse, ces matières premières, ces moyens utilisés par les chimistes pour obtenir les produits que nous utilisons quotidiennement, influencera nos choix dans leurs achats et le gaspillage dans leur utilisation.

Activité 25 :

Puis montrer aux élèves les logos suivants, pour repérer facilement les produits bios



A Madagascar la publicité peut servir de source d'informations.

Il faut donc inciter les élèves à suivre les nouvelles et les spots publicitaires et sensibiliser la population à travers les masses médias

De plus on peut prendre comme *application* : l'exercice 1, page 73.

FICHE D'APPLICATION.

La fiche d'application présentée ci-dessous vise à évaluer les acquis des élèves concernant le concept de chimie verte afin qu'ils puissent protéger la planète mais surtout qu'ils reconnaissent l'importance et l'utilité de la chimie pour qu'ils modifient leur image négative sur cette dernière.

Il y a six applications dans cette fiche dont les corrections se trouvent dans l'annexe 2, page iii-ix.

Exercice 1 : cocher la ou les bonnes réponses.

1- La chimie verte est une nouvelle façon de faire de la chimie, c'est une chimie:

- A : polluant pour l'environnement.
- B : respectueuse de l'environnement.
- C : moins coûteuse.
- D : qui utilise d'avantage les ressources fossiles non renouvelables.

2- La chimie verte a pour but de concevoir :

- A : des produits chimiques moins dangereux.
- B : des procédés chimiques plus sûrs.
- C : des produits biodégradables.
- D : des produits sans avoir besoin de catalyseur.

3- La chimie verte se propose d'agir sur la gestion :

- A : des déchets.
- B : des matières premières.
- C : de l'énergie.
- D : des matériels didactiques.

4- La chimie verte est fondée autour de :

- A : 1 équation générale.
- B : 12 formules.
- C : 12 principes.
- D : 12 conditions nécessaire et suffisante.

Exercice 2:

Faire correspondre les numéros du diagramme des principes de la chimie verte avec les données du tableau. (Niveau taxonomique inférieur visé, connaissance et compréhension)

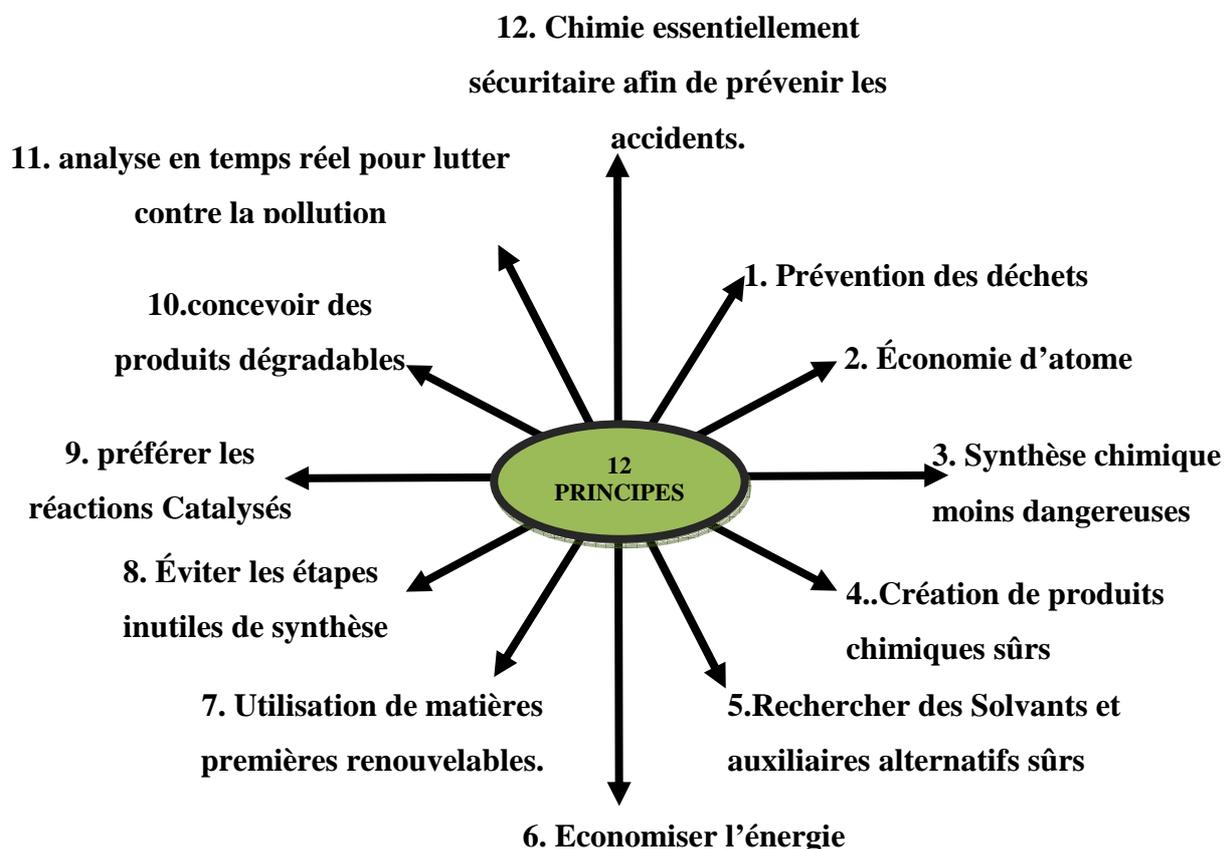


Figure 3: Les 12 principes de la chimie verte :

Développés par Paul Anastas et John Warner, ex agents de la EPE (l'agence américaine de la protection de l'environnement), dans le *Green Chemistry : Théorie and Practice*, ces principes tracent la feuille de route pour les chimistes en vue d'instaurer une logique chimie verte dans leurs actions.

| N° | Description |
|----|--|
| | Choisir le processus industriel le plus efficace, c'est-à-dire celui qui permet d'obtenir un maximum de produit désiré et le minimum de déchets. Les synthèses doivent être conçues dans le but de maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final. |
| | Lorsque c'est possible, il faut supprimer l'utilisation de substances auxiliaires (solvants, agent de séparation,...) ou utiliser des substances inoffensives. |
| | Les besoins énergétiques des procédés chimiques ont des répercussions sur l'environnement dont il faut tenir compte et qu'il faut minimiser. Il faut mettre au point des méthodes de synthèse dans les conditions de température et pression ambiantes. |
| | Fabriquer des produits chimiques faiblement ou non toxiques pour l'homme et l'environnement. |
| | Les réactifs catalytiques sont plus efficaces que les réactifs stœchiométriques. Il faut utiliser des réactifs catalytiques les plus sélectifs possibles. |
| | Il vaut mieux produire moins de déchets qu'investir dans l'assainissement ou l'élimination des déchets. |
| | Concevoir des synthèses moins dangereuses grâce à l'utilisation de conditions douces et par la préparation de produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement. |
| | Lorsque la technologie et les moyens financiers le permettent, les matières premières utilisées doivent être renouvelables plutôt que non renouvelables. |
| | Les substances et la forme des substances utilisées dans un procédé chimique doivent être choisies de façon à minimiser les risques d'accidents chimiques incluant les rejets, les explosions et les incendies. |
| | Des méthodologies analytiques doivent être élaborées afin de permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production avant qu'il y ait apparition de substances dangereuses pour éviter la pollution. |
| | Les produits chimiques doivent être conçus de façon à pouvoir se dissocier en produits de dégradation non nocifs, cela dans le but d'éviter leur persistance dans l'environnement. |
| | Lorsque c'est possible, toute déviation inutile des étapes de synthèse (utilisation d'agent bloquant, protection/déprotection, ...) doit être réduite ou éliminée. |

(**Source** : exercice TS : la chimie verte, tirée des programmes français sur le thème :Agir.)

Exercice 3 : la chimie verte utilise des matières premières renouvelables comme les biomasses et le CO₂. (Niveau taxonomique inférieur visé, connaissance)

A- Les biocarburants de 2^{ème} génération :

Après avoir visionné l'animation biocarburant de deuxième génération.swf

- 1- Définir la biomasse, et donner deux exemples présents dans l'animation ?

.....
.....

- 2- Quel sont les différents produits obtenus après la conversion de la biomasse en biocarburant d'après cette animation?

.....
.....

- 3- Parmi ces produits, nommer celle qui servira comme matière première pour la chimie verte.

.....
.....

B- Recycler le CO₂ : analyse de document.

Convertir du dioxyde de carbone (CO₂) pour obtenir une classe de molécules à la base de la fabrication de textiles, médicaments, et colles : c'est un défi des chercheurs d'aujourd'hui. L'utilisation de ce déchet pour produire des composés chimiques réutilisables est une alternative prometteuse à la pétrochimie. L'approche scientifique présentée est une démarche innovante qui satisfait les exigences de la « chimie verte ».

Le CO₂ est le déchet ultime de la combustion des hydrocarbures, tels que le pétrole ou le gaz naturel, mais aussi **de toute autre activité industrielle** utilisant des ressources carbonées fossiles, sans parler des CO₂ d'origine naturelle (comme les volcans). Ce produit, de basse énergie, est faiblement réactif. Il s'accumule dans l'atmosphère et, en tant que gaz à effet de serre, participe au réchauffement climatique.

Réduire nos émissions de CO₂ et utiliser le CO₂ existant sont donc deux défis actuels majeurs.

Le captage est le stockage du CO₂ émis permettrait de solutionner le problème. Mais en complément les chercheurs envisagent de valoriser le CO₂ comme matières premières dans les industries chimiques.

Actuellement le CO₂ est utilisé directement sans transformation dans les industries chimiques comme solvant, fluide réfrigérant ou gazéifiant des boissons. Cependant, par réaction chimique avec un autre composant fortement réactif, il est désormais possible de convertir du CO₂ en formamide par exemple. (Molécule à la base de la production de colles, peintures ou encore de produits textiles).

L'utilisation du CO₂ comme matière première et comme source de carbone, induit un basculement de la pétrochimie vers une carbochimie. Le CO₂ peut alors servir soit à produire des produits à valeurs énergétiques (carburant), soit des produits chimiques organiques de base (comme les formamides). Le recyclage du CO₂ permettait donc de remplacer les produits issus de la pétrochimie, une voie parfaitement conforme aux exigences de la chimie verte.

(**Source** : exercice TS : Diminuer les émissions de CO₂; tirer des programme français thème : Agir.)

Exploitation :

Etude de la production du CO₂ :

- 1- Pourquoi le CO₂ peut-il être considéré comme un produit néfaste ? (*Niveau taxonomique supérieur visé, analyse*)
- 2- Citer les principales sources de production du CO₂ ? (*Niveau taxonomique inférieur visé, connaissance*)

Recyclage du CO₂ :

Dans le but de pratiquer une chimie verte, quels sont les types de solutions mis en place pour diminuer les émissions de CO₂ dans l'atmosphère en dehors des captages ? (*Niveau taxonomique supérieur visé, analyse et synthèse*)

Exercice 4 : la chimie verte utilise des solvants moins dangereux : les fluides supercritiques (exemple le CO₂ supercritique).

Dans les industries chimiques et dans les laboratoires, les solvants organiques sont très sollicités. Or, la plupart des solvants organiques sont toxiques et dangereux que ce soit pour la sécurité, la santé des hommes mais aussi pour l'environnement.

Remplacer les solvants toxiques et dangereux figure parmi les principes de base de la chimie verte.

Le gaz carbonique (CO₂), comprimé à une pression de 74 bars et à des températures supérieures à 31°C, devient supercritique. Au-delà d'une température et d'une pression dite critique, le CO₂ se trouve dans un état intermédiaire entre l'état liquide et l'état gazeux. Sa masse volumique se rapproche d'un liquide et sa viscosité de celle d'un gaz.

Cosmétique, agroalimentaire, pharmacie et même nucléaire, ces industries s'intéressent aujourd'hui à un nouveau type de solvant organique : **le CO₂ supercritique**. Cet état particulier confère au gaz carbonique des propriétés remarquables, parmi lesquelles celle d'être un **solvant propre qualifié de solvant vert (faible toxicité pour l'homme et l'environnement, facile à récupérer et recyclable)**. (Source : d'après les brochures *défis du CEAmars 2006*).

Questions :

- 1- D'après le texte comment prépare-t-on le CO₂ supercritique ? (*Niveau taxonomique inférieur visé, connaissance et compréhension*)
- 2- Sous quel état physique se trouve le CO₂ dans l'état supercritique, en déduire la définition d'un fluide supercritique. (*Niveau taxonomique inférieur visé, compréhension*).
- 3- D'après le texte, quel avantage apporterait l'utilisation de CO₂ supercritique ? (*Niveau taxonomique inférieur visé, compréhension*).

Exercice 5: la catalyse pilier de la chimie verte. Lire le texte puis répondre aux questions.

La catalyse constitue l'un des grands enjeux de la chimie verte, qui figure parmi ses douze grands principes. Les réactions catalytiques sont des réactions réalisées en présence d'un catalyseur.

Cet élément solide ou liquide augmente la vitesse de la réaction en abaissant la barrière énergétique, autrement dit le seuil d'énergie nécessaire pour permettre à la réaction de se produire. Le catalyseur permet donc d'économiser de l'énergie et de réduire le temps de réaction. Il n'est pas détruit lors de cette dernière et peut être, dans certains cas, récupéré et réutilisé. Enfin, il a la propriété d'être sélectif. Alors qu'une réaction classique donne souvent, outre le produit recherché, des coproduits ou sous-produits non désirés, la présence d'un catalyseur favorise la formation du produit recherché. Il permet ainsi une meilleure utilisation

des atomes des molécules de départ qui se retrouvent tous dans le produit désiré et non dans des produits secondaires qu'il faut séparer, recycler ou détruire.

Economies d'énergie, d'atomes et de temps : preuve est faite que ces catalyseurs constituent une solution à privilégier en matière de chimie verte. D'autant plus que 80% des produits manufacturés qui nous entourent comme les plastiques et les carburants sont obtenus par des procédés catalytiques....

C'est ainsi que certains chercheurs se penchent d'ores et déjà sur les catalyseurs qui permettront de rendre possible la filière des biocarburants. « Nous développons des catalyseurs qui transformeront le bioéthanol issu des biomasses en carburant de type Diesel, et d'autres qui permettront de valoriser les sous-produits de cette filière bio, comme la lignine, en briques élémentaires de la chimie de demain ».

En attendant, les scientifiques développent aussi des solutions curatives. Par exemple, ils cherchent des catalyseurs plus efficaces pour éliminer les oxydes d'azote (NO, NO₂ et N₂O) rejetés par les voitures et les camions, mais aussi par de nombreuses usines et centrales thermiques. Aussi récemment, des chercheurs ont mis au point un procédé pour rendre l'eau potable par photocatalyse solaire. Ce procédé, qui permet à la fois d'éliminer les substances toxiques, comme les pesticides et les colorants, et de désinfecter l'eau en détruisant les bactéries, fonctionne d'ores et déjà dans six pays d'Afrique du Nord et d'Amérique latine. Ce genre de solutions curatives devrait permettre de limiter l'impact de la filière chimie sur l'environnement en attendant la mise au point des procédés qui intégreront les préoccupations environnementales dès leur conception.... Et sur lesquels les chercheurs, on n'en doute plus, se sont déjà mis au travail.

(**Source** : Extrait du « journal du CNRS » n°193 (Stéphanie Belaud), février 2006.)

Questions : *(Niveau taxonomique inférieur visé, connaissance et compréhension)*

- a- Quelle définition peut-on donner pour un catalyseur ?
- b- Quelles sont les propriétés d'un catalyseur ?
- c- Quels sont les atouts d'une réaction catalysée par rapport à une autre qui ne l'est pas ?
- d- Quels sont les exemples (actuels ou futurs) d'utilisation de catalyseur(s) cités dans le texte ?

Exercice 6 : Economie d'atome. (Niveau taxonomique supérieur visé, application, analyse, synthèse et évaluation).

Il s'agit ici de comparer l'efficacité de deux réactions chimiques par l'utilisation de nouveaux indicateurs : l'utilisation atomique « UA » et le facteur environnemental « E ».

La notion traditionnelle de rendement ne suffit plus pour évaluer l'efficacité des procédés chimiques. Essayer de mettre en œuvre une chimie verte impose d'introduire des concepts nouveaux : l'utilisation atomique UA et le facteur E. Ils permettent une meilleure évaluation de l'efficacité des procédés et servent de cadre conceptuel pour optimiser les procédés existants et développer de nouvelles stratégies de synthèse.

I- L'utilisation atomique UA :

L'économie d'atomes (E_{At}) ou utilisation atomique (UA) peut être définie comme étant le rapport de la masse de produit désiré sur la masse de tous les réactifs utilisés :

$$UA = \frac{\text{masse du produit désiré}}{\text{masse des réactifs utilisés}}$$

On définit le pourcentage d'utilisation atomique (%U.A.) par $\%U.A. = UA \times 100$.

1. Cocher la bonne réponse.

Une réaction chimique sera d'autant plus efficace que :

- %UA est proche de 100% %UA est proche de 50%
 %UA est proche de 0%

2. Etude d'une réaction : l'oxydation de l'éthanol.

On propose de mettre en application le concept de l'utilisation atomique à l'étude des réactions chimiques suivantes:

- action du dichromate de potassium sur l'éthanol en milieu acide : réaction(1)
- action du dioxygène sur l'éthanol en présence de levures : réaction (2).

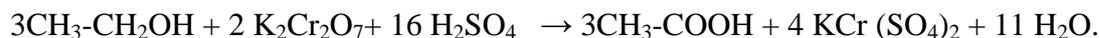
Pour chacune des réactions, on supposera que la transformation envisagée est totale et le mélange stoechiométrique.

2-1. Etude de la réaction entre le dichromate de potassium et l'éthanol réaction (1) :

On réalise l'oxydation ménagée de l'éthanol avec du dichromate de potassium ($2K^+$; $Cr_2O_7^{2-}$) en milieu acide.

On donne $E^\circ \text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}/\text{Cr}^{3+} > E^\circ \text{C}_2\text{H}_4\text{O}_2/\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$

L'équation bilan de la réaction (1) s'écrit :



Justifier, en précisant les réactifs et les produits obtenus.

2-1-a. Rendement d'une réaction chimique :

On rappelle que la définition du rendement d'une réaction chimique est :

$$r = \frac{\text{masse réelle du produit obtenu}}{\text{masse théorique du produit obtenu}}$$

- Calculer la masse théorique m_4 de $\text{CH}_3\text{-COOH}$ que l'on peut espérer obtenir au maximum, sachant que la réaction (1') précédente est réalisée en utilisant $m_1 = 1,40$ kg d'éthanol et que le mélange est stœchiométrique.

On donne les masses molaires des espèces chimiques dans le tableau ci-dessous.

| Espèces chimiques | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$ | $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$ | H_2SO_4 | $\text{CH}_3\text{-COOH}$ | $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$ | H_2O |
|---|-------------------------------------|-----------------------------------|-------------------------|---------------------------|-----------------------------|----------------------|
| Masses molaires en g. mol^{-1} | 46 | 294 | 98 | 60 | 283 | 18 |

- Calculer le rendement de la réaction (1'), sachant que l'on obtient en réalité $m = 1,0$ kg d'acide éthanoïque.

2-1-b. Calcul de l'utilisation atomique UA_1 de la réaction (1') :

A l'aide de l'équation (1'), identifier le ou les produits désirés lors de cette réaction d'oxydation, ainsi que les réactifs et les déchets. (*Niveau taxonomique inférieur visé, connaissance*).

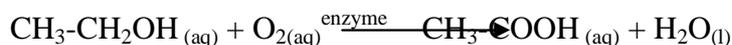
| | |
|----------------------|--|
| Produit(s) désiré(s) | |
| Déchets | |
| Réactifs | |

- La réaction (1') précédente est réalisée en mélangeant $m_1 = 1,40$ kg d'éthanol, $m_2 = 6,00$ kg de dichromate de potassium et $m_3 = 7,85$ kg d'acide sulfurique pur. Calculer la valeur du pourcentage d'utilisation atomique $\% UA_1$, en utilisant la masse attendue m_4 . (*Niveaux taxonomique visé, application*).

- Quelles sont les informations que l'on peut déduire des valeurs du rendement et de l'utilisation atomique UA_1 ? (Niveaux taxonomique supérieur visé, analyse).

2-2. Etude de la réaction entre le dioxygène et l'éthanol en présence de levures. Réaction (2) :

L'équation de réaction est :



- Quel rôle joue l'enzyme ? (Niveau taxonomique inférieur visé, connaissance)
- A l'aide de l'équation de réaction, identifier le ou les produits désirés lors de cette oxydation, ainsi que les réactifs et les déchets. (Niveaux taxonomique inférieur visé, connaissance).

| | |
|----------------------|--|
| Produit(s) désiré(s) | |
| Déchets | |
| Réactifs | |

- Dans le cas d'un mélange stœchiométrique et en utilisant 1mole de chaque réactif, Calculer la valeur du pourcentage d'utilisation atomique % UA_2 . (Niveaux taxonomique visé, application).

Données :

| Espèces chimiques | CH_3-CH_2-OH | O_2 | CH_3-COOH | H_2O | Enzyme |
|---|----------------|-------|-------------|--------|----------|
| Masses molaires en g. mol ⁻¹ | 46 | 32 | 60 | 18 | milliers |

- Comparer UA_1 et UA_2 puis conclure.
- Quel est le procédé le plus vert ? justifier.

II- Le facteur environnemental E :

Le facteur E met en évidence les "Effluent" ou "Déchet", il peut être défini comme étant le rapport de la masse de tous les déchets et sous-produits sur la masse de produit désiré.

$$E = \frac{\text{masse des déchets}}{\text{masse du produit désiré}}$$

1. Montrer que la relation liant le pourcentage d'utilisation atomique (% U.A.) au facteur E est donné par : *(Niveaux taxonomique visé, application)*

$$E = \frac{1 - \text{UA}}{\text{UA}}$$

2. Calculer les valeurs de E_1 et E_2 pour les deux réactions chimiques précédentes: *(Niveaux taxonomique inférieur visé, application)*

$$E_1 = \dots\dots\dots \quad E_2 = \dots\dots\dots$$

3. Comparer E_1 et E_2 . *(Niveaux taxonomique inférieur visé, compréhension).*

Le facteur E de la réaction 1 est de Il y a donc fois plus de déchet, en masse, que de produit désiré.

4. Quel est le procédé d'obtention d'acide éthanoïque qui présente le moins de déchets ? *(Niveaux taxonomique supérieur visé, analyse et synthèse).*
5. Citer deux autres principes de la chimie verte qui sont respectés par la réaction 2 et non par la réaction 1. Justifier votre réponse. *(Niveaux taxonomique inférieur visé, connaissance).*

CONCLUSION

Nous sommes à un point de rupture de la planète, à un moment où s'entrecroisent changement climatique, pauvreté extrême, crise politique et financière. Nous mettons désormais en danger les milieux naturels à une vitesse jamais égalée. Nous n'avons plus le choix. Nous devons décider, individuellement et collectivement, une profonde mutation qui permet de combiner dans un développement durable, les enjeux sociaux, économiques et écologiques.

Dans ce contexte, l'éducation apparaît comme l'un des leviers les plus puissants qui soient pour opérer, dans le savoir, les valeurs, les comportements et les styles de vie, les changements nécessaires pour atteindre un mode de vie viable ainsi que pour garantir la démocratie et la paix.

C'est pour cela que l'EDD a été créée pour réorienter l'éducation vers la prise de conscience de notre destinée commune et de notre engagement à œuvrer pour un avenir meilleur pour la population et la planète. Ce qui est en jeu, avec l'avenir de l'homme et la Terre, c'est l'humanisme.

Cette situation exige une coopération intense, une très grande volonté politique mais surtout implique un engagement et une participation active de tous. En réponse à cela, les chimistes ont créé la chimie verte, qui doit permettre de réduire non seulement la pollution engendrée par les synthèses chimiques, mais aussi de réduire les coûts par un gain de temps et d'énergie. À l'avenir, la chimie verte pourrait également améliorer l'image de la chimie auprès du grand public, et poursuivre sa route aux côtés du développement durable en créant des procédés moins dangereux, moins polluants, notamment dans le domaine des synthèses.

Depuis 2006, le DD est présent dans les discours politiques et dans les sphères de discussion malgache, malgré le fait que le concept n'ait pas été bien développé. Cependant depuis quelques années, l'ErEDD est inscrit dans le cadre de la constitution de Madagascar, mais à noter que jusqu'à maintenant notre pays est en retard face à l'initiative d'introduire ce concept dans le programme scolaire. La place de l'EDD dans les programmes scolaire reste minime et seules les disciplines comme les sciences de la vie et de la terre (SVT), la géographie et l'éducation civique sont concernées. Une révision du programme scolaire s'impose, pour que celle-ci s'ajuste aux besoins de la société et intègre les thématiques du DD

pour toutes les disciplines scolaires. Aussi cette révision ne servira pas seulement à intégrer les thématiques du développement durable mais aussi à augmenter le volume horaire de chimie terminale scientifique pour faciliter l'amélioration du programme scolaire par l'introduction de nouveau concept tel que la chimie verte.

L'éducation au développement durable est une question d'actualité au regard des défis auxquels la société actuelle est confrontée. Les sciences physiques et chimiques ont la capacité d'apporter des contributions essentielles dans le but d'opérer un changement de style de vie et de comportement notamment pour l'utilisation et le choix des produits chimiques utilisés dans la vie quotidienne. Aussi actuellement, les grands de la chimie ont tous des programmes de recherches en place pour trouver les composés de demain qui permettront de remplacer les produits multiples de tous les jours qui dérive du pétrole. Pour le développement des milieux ruraux Malgache, la connaissance et la valorisation de ses matières premières bio-sourcées serait bénéfique.

Au cours de cette étude, après la partie bibliographique nous avons décidé de mener un entretien auprès de deux enseignants du lycée Moderne Ampefiloha, afin de connaître leur avis sur le projet d'introduction du concept de chimie verte dans le programme de chimie niveau terminale S. L'objectif est de récolter des informations sur les éventuelles forces et faiblesses de ce projet et d'envisager des suggestions sur les moyens que les enseignants pensent appropriés pour traiter ce thème.

Comme le concept de chimie verte n'existe pas dans le curriculum des sciences physique la connaissance des enseignantssur ce thème était pratiquementnulle. Cependant, ils sont enthousiastes à l'idée que ce nouveau concept soit introduit dans leurs programmes d'enseignement.

A travers cet entretien, nous avons pu déterminer que la volonté des enseignants est la principale force de ce projet. Cependant les faiblesses dans ce projet restent le manque des ressources que ce soit (humaine, matérielle ou financière). Il est à noter que la faiblesse en français des élèves peut être considérée comme un obstacle pour la réalisation de ce projet, de plus l'introduction de cette étude engendrera aussi un problème au niveau de la gestion de l'emploi du temps face à l'augmentation du volume horaire.Malgré ces différentes faiblesses, des opportunités peuvent se présenter car beaucoup d'organisations gouvernementales ou non gouvernementales sont disposées à investir dans ce projet car l'EDD est un sujet d'actualité

Mondiale. Mais la menace liée à notre projet reste toujours la volonté politique car à Madagascar tout dépend de la volonté des décideurs.

Enfin, dans le cadre de ce mémoire nous avons élaboré une fiche pédagogique suivie de fiche d'activités. Cette fiche pédagogique a pour objectif d'expliquer le concept de chimie verte, mais surtout de montrer les différentes utilités de la chimie dans la vie quotidienne afin que les élèves reconnaissent l'importance de cette dernière et qu'ils aiment la matière physique chimie. Aussi, à travers les activités traitées dans cette fiche les élèves devraient être capables de protéger la planète en optant pour des produits bio et à ne pas utiliser abusivement les produits chimiques. Ce sont des gestes simples et faciles mais qui contribueront à lutter contre la pollution planétaire.

Il convient de noter que pour améliorer l'enseignement/apprentissage, des techniques d'enseignement de l'EDD comme la fiction, les débats et les simulations sur ordinateur sont proposés et introduit dans cette fiche pédagogique. Aussi, pour particulariser la chimie verte de la chimie traditionnelle, de nouvelles notions comme l'économie d'atome et le facteur environnemental sont introduits.

En complément, la fiche pédagogique est suivie d'une fiche d'application qui contient 6 exercices qui visent non seulement à évaluer les acquis des élèves concernant le concept de chimie verte mais aussi d'améliorer leur connaissance sur la chimie en générale notamment pour l'écriture des réactions chimiques, l'utilisations des coefficients stœchiométriques, la détermination de la quantité de matière lors d'une réaction chimiques, bref l'utilisation des réactions chimiques pour résoudre les problèmes de chimie. Les activités constituent des évaluations des exercices qui visent divers taxonomiques de bloom aussi bien inférieurs que supérieurs.

Nous sommes conscients que le travail que nous venons de produire n'est qu'une toute petite graine dans le champ des possibilités et d'opportunités à saisir. Nous espérons simplement que cette graine pourra germer à l'aune des contributions d'autre recherche de renouveler le programme scolaire mais aussi pour que l'EDD devienne une réalité dans les programmes scolaires et dans les pratiques des secondaires notamment des terminales scientifiques.

BIBLIOGRAPHIE

- 1- Allemand, S. (2006). *Le Développement Durable*. Paris : Bellin.
- 2- Anastas, P.T. & Warner, J.C. (1998). *Green Chemistry – Theory and Practice*. Oxford: University Press.
- 3- Baddache, F. (2006). *Le développement Durable au quotidien*. Paris : Eyrolles.
- 4- Bensaude-Vincent, B. (2005). *Faut-il avoir peur de la chimie*, Paris, France : Seuil.
- 5- Brundtland, G.H. (1987). *commission mondiale sur l'environnement (CMED) Notre avenir à tous*. Montréal, Québec : les éditions du fleuve.
- 6- Clary, M. (2011). *Une expérience d'introduction de l'EDD dans les pays du Sud*, France : Université d'Aix-Marseille.
- 7- CNUED. (1993). *Action 21 : rapport de la conférence des Nations Unies sur l'environnement et le développement. Déclaration de Rio sur l'environnement et le développement*.
- 8- Colona, P. (2006). *la chimie verte*. Paris : Ed Tec & Doc, Lavoisier.
- 9- Davallon, J. & Marec, J.-L. (1995) *Exposition, Représentation, et communication*, Paris : Ministère de la culture et de la communication.
- 10- De Hart hurd, P. (1997). *New direction in teaching secondary school science*. Chicago: Rand McNally & Company.
- 11- De Landsheere, V. (1992). *L'éducation et la formation*. Paris: France: Presse universitaire de France.
- 12- Eastes, R.E. (2010). La chimie durable : verte et responsable. *Actualité chimique*, pp 342-343 : Jean-François Rey.
- 13- Giordan, A. (1999). *Une didactique pour les sciences expérimentales*. Paris : Belin.
- 14- KOAMA, E.P. (2013). *Education et développement durable au Burkinafaso : Etat des lieux au préscolaire et au primaire*. Burkinafaso : Université de Koudougou.
- 15- Lancaster, M. (, 2002). *Green chemistry, an introductory text*. Cambridge: Royal Society of Chemistry.
- 16- Lange, J.M. (2008). *L'éducation au développement durable au regard des spécialités enseignantes*. *ASTER*. 46, 123-154.
- 17- Lange, J.-M. & Victor P. (2006). Didactique curriculaire et éducation à..., la santé, l'environnement et au développement durable : quelles questions, quels repères ?. *Didaskalia*, 28, 85-100.
- 18- Madagascar Government (2006). Madagascar Action Plan.

- 19- Mainar, C. (2009). Approche transdisciplinaires de l'éducation au développement durable dans l'enseignement. *Mappe monde*, vol. 3, n°98.
- 20- Martinand J.-L. (2007). Éléments de problématique pour l'éducation scientifique des citoyens. In N. Benjelloun & M. Zaki (éd.). Formation, apprentissage et évaluation en sciences et techniques à l'université (pp. 201-205). *Actes du Symposium international FORAPEVAL*, 23- 24 novembre 2006. Fès : université Sidi Mohammed Ben Abdallah.
- 21- Miharizo, N.J. (2015). *La situation de l'Education au Développement Durable à Madagascar et perspectives*. Mémoire CAPEN.
- 22- Miled, M. (2002). Elaborer ou réviser un curriculum. In le Français dans le monde, mai- juin 2002, n° 321.
- 23- Ministère de l'enseignement secondaire et de l'éducation de base. (1998). *Programme Scolaire*. Antananarivo : CNAPMAD.
- 24- Ministère de l'éducation nationale et des recherches scientifique. (2008). *Education pour tous*. Antananarivo : MENRS.
- 25- Rakotomalala, J.T. (2015). *Education au développement durable*. Mémoire CAPEN.
- 26- Rakotonanahary, A. (2013). *Analyse des répétitions des thèmes étudiés dans la discipline d'histoire au collège et au lycée*. Mémoire CAPEN.
- 27- Razafimbelo, J & Ramanitra, A. (2015). *Tic et Education au Développement Durable : appuis et obstacles à Madagascar*. Antananarivo : ENS.
- 28- République de Madagascar (20015). *Charte de l'environnement Malagasy actualisée*.
- 29- République de Madagascar (2013). *Document d'orientation de la politique Nationale pour l'Education Relative à l'Environnement pour le Développement Durable*.
- 30- République française, (2015). *L'agenda 2030 et les objectifs du développement durable*. Paris : Ministère de l'écologie du développement durable et de l'énergie
- 31- Sarrade, S. (2011). *La chimie pour une planète durable*. Paris : Edition le pommier.
- 32- Senn, H. R. (2014). *Education pour le développement durable en milieu scolaire*. Antananarivo : WWF Madagascar.
- 33- UNESCO. (2010). *Le prisme de l'Éducation pour ledéveloppement durable : un outil d'analyse des politiques etdes pratique*, Outil d'analyse 9 : Intégration de l'EDD dans les programmes.
- 34- UNESCO. (2011). *Education pour le développement durable et compétence des élèves dans l'enseignement secondaire*.
- 35- UNESCO. (2012). *Ouvrage de référence sur l'EDD*.

36- UNESCO, (2013).*éducation pour le développement durable à Madagascar*.

Webographie :

- Contribution des sciences physique dans l'EDD récupérée le 04-08-16 de :
<http://eduscol.education.fr/sciences-physiques-et-chimiques.html>
- BREGON, J. (2010) le développement durable ? comprendre et agir. Récupérée le 19-12-16 de :
www.developpement-durable.gouv.fr/.../diaporama - le developpement durable co
- CNUED : sommet de Johannesburg 2002. Récupérée le 30 juillet 2016 de :
<http://www.un.org/french/events/wssd/pages/cnued.html>
- UNESCO (2012). Décennie des Nations Unies pour l'éducation au service du développement durable. Récupérée le 15 juin 2016 de :
www.unesco.org/education/desd
- Rapport des objectifs du Millénaire pour le développement 2012. New York. Récupérée le 15 Juillet 2016 de :
<http://www.un.org /millennium goals/pdf/MDG%20Report%202012.pdf>
- Programme officielle malgache,récupérée le 24 Novembre 2015 de :
<http://mtkfr.accesmad.org/progammeofficielmalgache>
- Chimie verte, récupérée le 29 Novembre 2015 de :
https://fr.wikipedia.org/wiki/Chimie_vert .
[http://www.inra.fr/la science et vous/dossiers scientifiques/ la chimie verte/](http://www.inra.fr/la_sciences_et_vous/dossiers_scientifiques/la_chimie_vert/)
- Chimie verte, la chimie respectueuse, récupérée le 1 décembre 2015 de :
<http://www.universcience.fr/fr/bibliotheque-bis/content/c/1239022244185/chimie-verte---lachimie-respectueuse/>
- L'UNESCO et le développement durable. (2005). Récupérée le 20 Avril 2016 de :
<http://unesdoc.unesco.org/images/0013/001393/139369>
- Charte de la Terre (2000). Récupérée le 23 Avril 2016 de :
<http://www.earthcharterinaction.org/content/>
- Déclaration de Rio. (1992). Récupérée le 23 Avril 2016 de :
<http://www.unep.org/Documents>
- Exercice sur la chimie verte récupérée le 12 octobre 2016 de ::
http://www.lemonde.fr/planete/article/2012/06/08/le-co2-recycle-en-matiere-premiere_1715175_3244.html
<http://www2.cnrs.fr/presse/communiqu/2309.htm>

- Les 6 niveaux de taxonomie de bloom. Récupérée le 25/09/16 de <http://seduc.csdecou.qc.ca/sec-UV/taxonomie-de-bloom/>

Les animations sont récupérées des sites suivants :

Animation extraction liquide :

www.cea.fr/multimedia/Mediatheque/animation/physique.../extraction%20liquide.swf

- **Animation dissolution dilution fusion**

physiquecollege.free.fr/physique_chimie_college.../dissolution_dilution_fusion.swf

- **Animation pétrochimie :**

www.energie-online.fr/schemas/petrole/petrochimie-total.swf

- **Animation biocarburant :**

www.cea.fr/multimedia/pages/animations/.../biocarburants-2eme-generation.aspx

- **Animation réduction du CO₂ captage et stockage :**

www.webstyle.fr/ifp/24-03-2010/animation-CO2_BRGM/animCO2.swf

ANNEXES

Annexe 1 : Entretien pour les enseignants de sciences physiques.

Identité des professeurs :

Etablissement :

Classes enseignées :

Date :

1. Est-ce que vous connaissez la chimie verte

OUI : NON :

Dans le cas où la réponse est non, la chimie verte est une nouvelle approche de la chimie pour éviter et réduire le danger et la pollution liée aux activités chimiques.

2. Est-ce-que vous avez déjà consulté des documents concernant ce thème, comme l'économie d'atome, valorisation du carbone, utilisation des solvants supercritique, etc.... ?

OUI : NON :

3. D'après vous, est-ce qu'on peut les enseigner.

OUI : NON :

4. A votre avis, quels types d'activité peuvent être utilisés pour enseigner la chimie verte ?

: Cours magistral

: Travaux pratiques

: Exposé

: Activité documentaire/ Visuel

Autre :

5. Pensez-vous que la chimie verte exige beaucoup de nouvelles connaissances de la part de vos élèves ?

OUI : NON :

Expliquer :

6. Quels est votre avis sur la proposition d'introduire ce thème dans le curriculum de la classe de terminale S ?

.....
.....

Intérêt : Quels sont les effets positifs attendus de ce « projet » ?

- : Amélioration des représentations négatives de la chimie auprès des élèves.
- : La motivation des élèves.
- : Développement des connaissances et des compétences en chimie verte et au DD.
- : Cohérence entre le programme enseigné et la vie quotidienne des élèves.
- : Compréhension des rapports entre la chimie et la vie quotidienne.
- : Conscientisation de l'importance de l'environnement dans lequel on habite.

Autre(s) :

Obstacles : à votre avis, qu'est ce qui serait un frein pour ce projet ?

- : Manque de temps (programme annuel chargé)
- : Désintérêt des enseignants et des élèves sur ce thème
- : Manque de moyens matériels, financement.
- : Manque de connaissance concernant ce thème.

Autre(s) :

Ressources : De quelle(s) ressource(s) avez-vous besoin pour mener à bien ce projet ?

- Appuis institutionnels :
- : Document pédagogique.
 - : Appuis matériels et/ou financiers.

- Formations :
- : Contenus disciplinaire
 - : Aux manipulations des matériels pédagogiques en classe.

Autre(s) :

Commentaires :

Avez-vous d'autres suggestions complémentaires à exprimer, concernant ce thème ?

.....
.....
.....
.....

MERCI DE VOTRE COLLABORATION

Annexe 2 : Réponse des exercices et applications

Exercice 1 :

Indiquer la ou les bonnes réponses :

1 : B et C ; 2 : A, B et C ; 3 : A, B et C ; 4 : C.

Exercice 2 :

Faire correspondre les numéros du diagramme des principes de la chimie verte avec les données du tableau.

| N° | Description |
|----|--|
| 2 | Choisir le processus industriel le plus efficace, c'est-à-dire celui qui permet d'obtenir un maximum de produit désiré et le minimum de déchets. Les synthèses doivent être conçues dans le but de maximiser l'incorporation des matériaux utilisés au cours du procédé dans le produit final. |
| 5 | Lorsque c'est possible, il faut supprimer l'utilisation de substances auxiliaires (solvants, agent de séparation,....) ou utiliser des substances inoffensives. |
| 6 | Les besoins énergétiques des procédés chimiques ont des répercussions sur l'environnement dont il faut tenir compte et qu'il faut minimiser. Il faut mettre au point des méthodes de synthèse dans les conditions de température et pression ambiantes. |
| 4 | Fabriquer des produits chimiques faiblement ou non toxique pour l'homme et l'environnement. |
| 9 | Les réactifs catalytiques sont plus efficaces que les réactifs stœchiométriques. Il faut utiliser des réactifs catalytiques les plus sélectifs possibles. |
| 1 | Il vaut mieux produire moins de déchets qu'investir dans l'assainissement ou l'élimination des déchets. |
| 3 | Concevoir des synthèses moins dangereuses grâce à l'utilisation de conditions douces et par la préparation de produits peu ou pas toxiques pour l'homme et l'environnement. |
| 7 | Lorsque la technologie et les moyens financiers le permettent, les matières premières utilisées doivent être renouvelables plutôt que non renouvelables. |
| 12 | Les substances et la forme des substances utilisées dans un procédé chimique doivent être choisies de façon à minimiser les risques d'accidents chimiques incluant les rejets, les explosions et les incendies. |
| 11 | Des méthodologies analytiques doivent être élaborées afin de permettre une surveillance et un contrôle en temps réel et en cours de production avant qu'il y ait apparition de substances dangereuses. |
| | |

| | |
|-----------|--|
| 10 | Les produits chimiques doivent être conçus de façon à pouvoir se dissocier en produits de dégradation non nocifs, cela dans le but d'éviter leur persistance dans l'environnement. |
| 8 | Lorsque c'est possible, toute déviation inutile du schéma de synthèse (utilisation d'agent bloquant, protection/déprotection, ...) doit être réduite ou éliminée. |

Exercice 3 : la chimie verte utilise des matières premières renouvelables comme les biomasses et le CO₂.

A- Les biocarburants de 2^{ème} génération

- 1) La biomasse est l'ensemble des matières organiques d'origine végétale ou animale pouvant être transformées en sources d'énergies : biocarburant, biogaz, éthanol.
- 2) Les produits obtenus après la conversion de la biomasse en biocarburant sont :
 - Du Diesel.
 - Du Jet de fuel.
 - Du naphta.
- 3) Le naphta est le produit utilisé par la chimie verte.

Complément pour les élèves :

Le naphta : est un mélange liquide d'hydrocarbures légers, c'est-à-dire de molécules constituées d'atomes de carbone et d'hydrogène (en faible nombre). Il est principalement issu du raffinage du pétrole brut, et sert de matière première pour la pétrochimie.

Pétrochimie : c'est une industrie qui fournit les matières intermédiaires qui servent de base à la fabrication de nombreux objets du quotidien, à partir des ressources fossiles.

B- Recyclage du CO₂ :

Etude de la production de CO₂ :

1-Le CO₂ est considéré comme un produit néfaste car en tant que gaz à effet de serre il participe au réchauffement climatique.

2-les émissions de CO₂ dans l'atmosphère sont à la fois d'origine naturel et anthropique c'est-à-dire issue des activités humaines comme la combustion des hydrocarbures (le

pétrole et le gaz naturel), mais aussi de toute autre activité industrielle utilisent les ressources carbonées fossiles.

Recyclage du CO₂ :

Dans le but de pratiquer une chimie verte :

- Le CO₂ est utilisé directement sans transformation dans les industries comme fluide réfrigérant, gazéifiant des boissons mais surtout comme solvant pour les réactions chimiques.
- Le CO₂ peut aussi servir pour la fabrication des produits à valeur énergétique comme les carburants.
- Il est aussi valorisé comme matière première dans les industries chimiques pour la production de colles, peintures, produits textiles et les polymères.

Exercice 4 :

La chimie utilise des solvants moins toxiques et dangereux : les fluides supercritiques

- 1- Le CO₂ devient supercritique si on le comprime à une pression de 74 bars et placera une température supérieure à 31°C.
- 2- A l'état supercritique le CO₂ se trouve dans un état intermédiaire entre l'état liquide et l'état gazeux.

Donc un fluide supercritique est un corps pur qui se trouve dans un état intermédiaire entre l'état liquide et l'état gazeux, au-delà d'une température et d'une pression dite critique.

- 3- Le CO₂ est qualifié de solvant vert c'est-à-dire qu'il est faiblement toxique pour l'homme et l'environnement, facile à récupérer et à recycler, il n'y a que des avantages bénéfiques pour l'homme et l'environnement.

A titre d'information :

- le CO₂ est inflammable, non toxique, non polluant et renouvelable.
- Le CO₂ a un fort pouvoir solvant en fonction de la température et la pression : il permet une extraction sélective des composés.

Exercice 5 : La catalyse pilier de la chimie verte

- 1- Le catalyseur est un élément solide ou liquide qui provoque par sa seule présence une réaction chimique et augmente la vitesse la vitesse de la réaction.
- 2- Caractéristiques :
 - Il abaisse le seuil d'énergie pour permettre à la réaction de se produire.
 - Il n'est pas détruit lors de la réaction et peut être récupéré et réutiliser.
 - Il a aussi la propriété d'être sélectif c'est-à-dire qu'il favorise la formation des produits recherchés.
- 3- Une réaction chimique présente de nombreux avantages notamment d'économiser l'énergie, les atomes et le temps ; pour un véritable gain de temps et d'argent pour les fabricants industriels,
- 4- Actuellement les catalyseurs sont utilisés pour l'élimination des oxydes d'ozones (NO, NO₂, N₂O) rejetés par les voitures, les camions et les usines. Mais aussi, ils sont utilisés pour la purification de l'eau par photocatalyse solaire.
A l'avenir les chercheurs comptent les utiliser pour la transformation des biocarburants mais aussi dans la chimie fine pour des synthèses plus propres et plus rentables.

Exercice 6 : Economie d'atome.

I- L'utilisation atomique UA :

1. Cocher la bonne réponse.

Une réaction chimique sera d'autant plus efficace que :

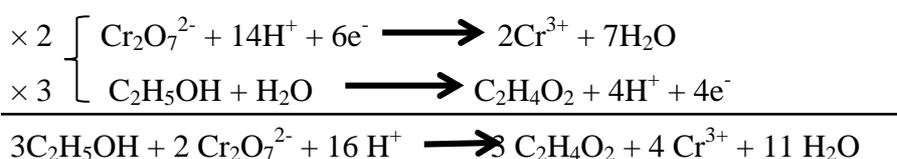
%UA est proche de 100%

2. Etude d'une réaction : l'oxydation de l'éthanol.

2-1. Etude de la réaction entre le dichromate de potassium et l'éthanol réaction (1) :

On réalise l'oxydation ménagée de l'éthanol avec du dichromate de potassium (2K⁺ ; Cr₂O₇²⁻) en milieu acide.

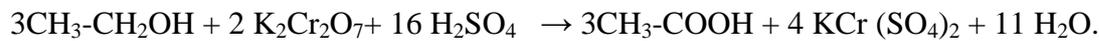
Équation bilan de la réaction :



Pour réaliser la transformation chimique, les réactifs mélangés sont : $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{-OH}$, $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$, H_2SO_4

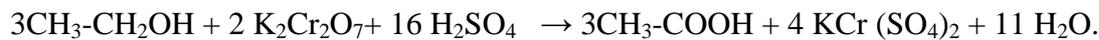
Les produits obtenus sont: $\text{CH}_3\text{-COOH}$, $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$, H_2O .

L'équation (1') de réaction est alors :



2-1-a. Rendement d'une réaction chimique :

- Calculer de la masse théorique m_4 de $\text{CH}_3\text{-COOH}$:



$$\begin{aligned} \frac{n_1}{3} &= \frac{n_2}{2} = \frac{n_3}{16} = \frac{n_4}{3} = \frac{n_5}{4} = \frac{n_6}{11} \\ &= \frac{n_1}{3} = \frac{n_4}{3} \\ &= \frac{n_1}{3} = \frac{n_4}{3} \\ &\Rightarrow \frac{m_1}{M_1} = \frac{m_4}{M_4} \Rightarrow m_4 = m_1 \frac{M_4}{M_1} \\ & \qquad \qquad \qquad m_4 = 1400 \times \frac{60}{46} = 1826 \text{ g} \end{aligned}$$

- Calcule du rendement de la réaction (1') :

$$r = \frac{m}{m_4} = \frac{1000}{1826} = 0,547 \quad \text{Soit } r = 54,7\%$$

2-1-b. Calcul de l'utilisation atomique UA_1 de la réaction (1') :

- Identification de ou des produits désirés lors de cette oxydation, ainsi que les réactifs et les déchets.

| | |
|----------------------|---|
| Produit(s) désiré(s) | $\text{CH}_3\text{-COOH}$ |
| Déchets | $\text{KCr}(\text{SO}_4)_2$; H_2O |
| Réactifs | $\text{CH}_3\text{-CH}_2\text{OH}$; $\text{K}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$; H_2SO_4 |

- Calcul de la valeur du pourcentage d'utilisation atomique % UA_1 , en utilisant la masse attendue m_4 :

$$\%UA_1 = \frac{m_4}{m_1 + m_2 + m_3} = \frac{1826}{15250} = 12\%$$

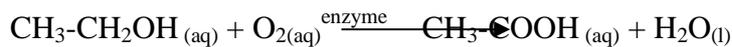
Pour un rendement de 100% seuls 12% en masse des atomes sont dans le produit recherché.

- On constate que les valeurs du rendement r et de l'utilisation UA_1 très différentes : la notion de rendement est largement insuffisante pour donner une indication satisfaisante sur l'occurrence l'économie d'atomes.

2 -2. Etude de la réaction entre le dioxygène et l'éthanol en présence de levures.

Réaction (2) :

L'équation de réaction est :

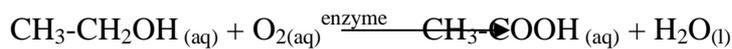


- L'enzyme joue rôle de catalyseur.
- identification de ou des produits désirés lors de cetteoxydation, ainsi que les réactifs et les déchets :

| | |
|----------------------|---|
| Produit(s) désiré(s) | CH ₃ -COOH |
| Déchets | H ₂ O |
| Réactifs | CH ₃ -CH ₂ OH, O ₂ |

- Calculer la valeur du pourcentage d'utilisation atomique % UA_2 .

$$UA_2 = \frac{m'_3}{m'_1 + m'_2}$$



$$\frac{n'_1}{1} = \frac{n'_2}{1} = \frac{n'_3}{1} = \frac{n'_4}{1}$$

$$n'_1 = n'_2 = n'_3$$

$$UA_2 = \frac{n'_3 M'_3}{n'_1 M'_1 + n'_2 M'_2} = \frac{M'_3}{M'_1 + M'_2}$$

$$UA_2 = \frac{60}{46 + 32} = 77\%$$

- Comparer UA_1 et UA_2 :

$UA_1 \ll UA_2$ donc la 2ème réaction d'oxydation économise plus d'atome.

e- Quel est le procédé le plus vert ? justifier

La 2^{ème} réaction est plus satisfaisante du point de vue de la chimie verte car l'économie d'atome est meilleure, car pour un rendement de 100% , 77% des atomes se trouve dans les produits désirer. De plus le déchet formé est l'eau qui est un produit non toxique, non polluant et pouvant être recyclé.

III- Le facteur environnemental E :

1- Montrer que la relation liant le pourcentage d'utilisation atomique (%U.A.) au facteur E est donné par

$$E = \frac{1 - UA}{UA}$$
$$E = \frac{a.M(A)+b.M(B)}{p.M(P)} - 1 \quad \text{et} \quad UA = \frac{p.M(P)}{a.M(A)+b.M(B)}$$

$$\text{Donc } E_M = \frac{1}{UA} - 1 = \frac{1-UA}{UA}$$

2- Calcul des E_1 et E_2 pour les deux réactions chimiques précédentes :

$$E_1 = \frac{1 - 0,11}{0,11} = 8,0 \quad \text{et} \quad E_2 = \frac{1 - 0,77}{0,77} = 0,3$$

3- Comparaison de E_1 et E_2 :

$E_1 \gg E_2$: autrement dit le facteur E de la réaction 1 est de **8,0** Il y a donc**8,0**fois plus de déchet, en masse, que de produit désiré.

4- le procédé 2 génère le moins de déchets pour l'obtention d'acide éthanoïque. Un procédé sera donc d'autant plus efficace, que son facteur E sera proche de 0.

5- Les deux autres principes de la chimie verte qui sont respectés par la réaction 2 et non par la réaction 1 sont :

- La catalyse : réaction rapide et nécessitant souvent moins d'énergie.
- Déchets non toxiques ; formation de H_2O non toxique et pas de sels métallique $KCr(SO_4)_2$

Annexe 3 : taxonomie de bloom

Source : <http://seduc.csdecou.qc.ca/sec-uv/taxonomie-de-bloom/> récupéré le 25-10-2016

| Niveau de complexité des connaissances | | Commentaires (Extrait du livre <i>Un cerveau pour apprendre</i> , David A. Sousa, éditions Chenelière, 2002) | Verbes associés |
|--|---------------|---|--|
| Quand – Pour quoi | Évaluation | <ul style="list-style-type: none"> Jugement ou estimation des différentes options individuelles à l'intérieur d'un groupe, et la sélection d'une option appuyée par une logique défendable. Permet plusieurs solutions équivalentes ou acceptables | Apprécier, créer, etc. |
| | Synthèse | <ul style="list-style-type: none"> Regroupement des parties afin d'élaborer un plan; Réorganisation qui mène vers la nouveauté; Niveau faisant appel à la créativité tout en mettant l'accent sur les nouveaux modèles ou les nouvelles structures. La créativité requiert une grande quantité d'informations, une bonne compréhension et la capacité de les mettre en œuvre dans la réalisation d'un produit tangible; Utilisation de la pensée divergente. | Imaginer, composer, concevoir, inférer, produire, résoudre des problèmes complexes, généraliser, etc. |
| | Analyse | <ul style="list-style-type: none"> C'est distinguer un contenu en ses différentes composantes afin d'en comprendre la structure, ce qui implique l'identification des parties, l'examen des relations qui existent entre elles et de celles qui régissent le tout, et enfin le repérage des principes organisationnels en cause; C'est cerner une situation; Correspond à la capacité d'organiser et de réorganiser l'information; C'est comprendre à la fois le contenu et la structure. | Interpréter, dégager, prévoir, discriminer, comparer, contraster, justifier, déterminer, choisir, mettre en perspective, distinguer, déduire, vérifier, résumer, etc. |
| Comment | Application | <ul style="list-style-type: none"> C'est actualiser une séquence d'actions qui répondent à la question comment faire; C'est mettre en pratique des savoir-faire : <ul style="list-style-type: none"> Appliquer une règle, des concepts, des processus; Suivre une démarche, un procédé, une méthode; Utiliser une formule, un processus, suivre une démarche. C'est l'activation de la mémoire procédurale. | Mesurer, conjuguer, calculer, approximer, composer, construire, décomposer, dessiner, développer, estimer, isoler, ordonner, reconstituer, tracer, transformer, accorder un verbe, relever des marques d'énonciation, etc. |
| Quoi | Compréhension | <ul style="list-style-type: none"> Niveau qui correspond à la capacité de conférer du sens aux savoirs; La compréhension se manifeste par la transformation des savoirs appris. | Modéliser, représenter, schématiser, symboliser, traduire, transposer, décrire, associer, organiser, reconnaître, grouper, reformuler, dénombrer, etc. |
| | Connaissance | <ul style="list-style-type: none"> C'est ramener un contenu exactement comme il a été appris (puiser dans sa mémoire); C'est un rappel de la mémoire déclarative; Nous n'avons aucune certitude quant au fait que l'apprenant comprend ce qui est rapporté. | Nommer, définir, réciter, énoncer, énumérer, identifier, situer, reconnaître, repérer, sérier, reproduire, compter, etc. |

Annexe 4 : fiction rédigée par Armand Lattes Professeur à l'Université P. Sabatier de Toulouse.

« ET SI LES CHIMISTES ARRETAIENT TOUT ».

C'est maintenant décidé ! Réunis en assemblée internationale lors de leur congrès annuel, les chimistes de toute origine ont pris la résolution d'arrêter leurs travaux, leurs analyses, leurs activités. Cette décision est la conséquence des critiques incessantes que les consommateurs, les pouvoirs publics, les associations, déversaient dans les médias et cela depuis bientôt un siècle. Attachés au bien public, soucieux de la protection des individus, attentifs à l'impact de tous les phénomènes naturels ou non sur la planète ; ils ne supportaient plus d'être mis au ban d'une société qui les accusaient d'être responsables de tous les maux qu'ils s'efforçaient, au contraire de détecter et de corriger.

C'est avec mélancolie, mais avec détermination, qu'ils se sont séparés, rejoignant leur destination d'origine pour se consacrer à d'autres activités que leur formation très large et leurs goûts propres leur permettaient d'aborder.

Au début, cette décision a été accueillie avec des sentiments unanimes de soulagement : les associations écologistes se félicitèrent de la disparition de leur cible privilégiée, les consommateurs applaudirent au retour d'une nature qu'ils estimaient dégradée par les activités chimiques et les esprits forts- de droite comme de gauche- ne manquèrent pas de s'attribuer les bénéfices de cette situation en prétendant bien haut qu'elle était le résultat de leur action.

Pendant quelque temps, le public n'observa que peu de différence dans les actes habituels de la vie de tous les jours. Curieusement l'effet sur la pollution atmosphérique fut pratiquement nul : les raffineries disposant de réserves suffisantes en carburant, les véhicules continuaient de rouler provoquant toujours les mêmes nuisances. Nombreux sont ceux qui purent constater- ce que les chimistes savaient- que les principaux responsables de la dégradation de l'air étaient les transports, l'industrie chimique n'intervenant que pour une fraction minime de la pollution globale.

Les premiers signes de changement apparurent lorsque les stocks de carburant commencèrent à s'épuiser. Faute de chimistes pour diriger les opérations de raffinage,

d'analystes pour suivre la qualité des produits finis, le pétrole brut s'accumulait dans les cuves ; bientôt il fallut arrêter les flux d'or noir de provenances diverses faute de moyens techniques pour le transformer. Le gouvernement prit alors quelques mesures impopulaires : dans un premier temps le rationnement, puis la saisie des stocks en faveur des secteurs prioritaires santé, ambulances, armée, etc...

Il n'en reste pas moins que le mécontentement était perceptible, sauf...., sauf au niveau des associations de protection de l'environnement, qui enregistrèrent une diminution sensible des pollutions de l'air, grâce aux appareils automatiques de détection qui fonctionnaient encore. Rapidement cependant, les réactifs nécessaires au suivi de la présence des polluants dans l'air, vinrent à manquer et toute forme de détection fut désormais impossible à mettre en œuvre.

A l'issue de cette période, on assista partout à l'utilisation de moyens alternatifs :

- au niveau des transports, la bicyclette revint à l'honneur, et les voitures abandonnées un peu partout, au gré de l'épuisement du carburant, furent remplacées par des vélos que l'on retrouva avec d'autant de plaisir que l'absence de véhicules à moteur permettait enfin de disposer d'espaces cyclables sans crainte d'être renversé ou même écrasé.

Mais...mais, l'utilisation intensive de ce mode de transport eut une conséquence inattendue sur les pneumatiques : le mauvais état des rues et des routes, dont le bitume commençait à s'arracher par plaques, provoqua une usure rapide des pneus.

Faute d'être remplacés, les vélos furent à leur tour abandonnés malgré les efforts de ceux qui, se souvenant de la 2ème guerre mondiale, se livrèrent à des opérations hasardeuses pour les maintenir en ordre de marche. Les individus apprirent ainsi que le bitume résultait d'une formulation chimique complexe qui nécessitait la synthèse de substances permettant l'adhésion au gravier et aux pierres, alors que les pneus étaient aussi une formulation subtile, essentiellement -pour ne pas dire totalement- chimique.

- au niveau du chauffage, les hommes et les femmes, manquant de la plupart des énergies auxquelles ils étaient habitués, transformèrent leurs installations pour les adapter aux énergies anciennes qu'ils purent redécouvrir :

* **le charbon** d'abord, mais aucun contrôle n'étant effectué et les cokeries ayant fermé, la production de gaz soufrés, et par la même d'acides, fut énorme ! ... et non contrôlée. Il en résulta des dégradations sur les immeubles, une augmentation du nombre d'asthmatiques et la destruction des forêts en raison des pluies acides. De plus, de nombreux cas d'intoxication à l'oxyde de carbone furent enregistrés car le bricolage des chaudières ne permettait pas toujours une combustion complète ;

* **le bois** fut aussi une valeur exploitable, et cela d'autant plus que la fermeture des usines de pâte à papier permettait d'en disposer en grande quantité. La France qui possédait un patrimoine forestier important, puisa dans ses réserves, mais celles-ci ne tardèrent pas à montrer leurs limites d'autant plus que la destruction de nombreux hectares par les pluies acides et l'attaque du bois par des parasites rendus virulents en l'absence de moyens chimiques pour les combattre, accentuèrent ce processus.

Disposant d'électricité de façon limitée et par rotation, ne se déplaçant qu'à pied et donc sur de courtes distances, les êtres humains retrouvèrent des instincts de tribus, jalouses de ce qu'elles possédaient et peu disposées à le partager. Cela conduisit à des conflits entre "tribus" et l'instauration d'un régime local belliqueux où la moindre étincelle pouvait conduire à l'affrontement.

Un autre effet de la décision des chimistes atteignit les consommateurs dans un des éléments nécessaires à leur vie : la nourriture. Ce fut d'abord la dégradation des mets ou ingrédients les plus courants, par exemple le sucre -qui de plus était le produit chimique de base le meilleur marché- commença à manquer faute de pouvoir l'extraire de la betterave et de le purifier. D'ailleurs l'absence d'engrais avait provoqué une chute énorme non seulement de la production de la betterave, mais aussi de toute la production végétale. Le rendement à l'hectare du blé était de l'ordre de grandeur de celui du début du siècle dernier tandis que les légumes attaqués par les doryphores, chenilles et autres insectes, devenaient de plus en plus rares. Corrélativement, le nombre de têtes de bétail et d'animaux de basse-cour fut réduit faute de nourriture et en raison des maladies que les vétérinaires ne pouvaient traiter en l'absence de médicaments. La viande devait être consommée très vite car on ne disposait plus de conservateurs et que les emballages, en carton ou en plastique, ne se fabriquaient plus.

Eclairés à la bougie stéarique (une invention de chimiste) limités dans leurs déplacements, saisis par le froid (puis par la chaleur) nos concitoyens furent l'objet d'une diminution rapide de leur durée de vie. Certaines maladies reprirent le dessus d'autant plus que le manque de médicaments -dont la plupart était le résultat de la synthèse chimique- se fit sentir dès le début de la grève.

C'est ainsi que les humains apprirent :

- que certaines hormones n'étaient pas d'origine naturelle mais fabriquées de toute pièce par les chimistes. La pilule anticonceptionnelle venant à manquer, de nombreuses grossesses non désirées furent enregistrées (la disparition de la télévision dont les composants étaient le fruit de la synthèse contribua à l'importance du phénomène !);
- que, même issus de substances naturelles, des molécules anticancéreuses, comme le taxotère étaient optimisées par modulation chimique ;

D'autres conséquences, plus ou moins graves, furent enregistrées : dans le domaine de l'habillement tout d'abord. Les fibres artificielles ayant disparu, la variété de structures qu'elles permettaient de réaliser (protection du froid, de la chaleur, résistance aux intempéries, tissus intelligents ... etc) disparut. Les humains se retrouvant dans des conditions voisines de celles que leurs parents et grands-parents avaient connues pendant la deuxième guerre mondiale, réapprirent à utiliser tous les déchets et à récupérer le moindre tissu, par exemple les garnitures des voitures abandonnées furent ainsi utilisées et les pantalons s'ornèrent de fonds de culotte peu adaptés aux couleurs originelles. D'ailleurs les colorants aussi vinrent à manquer et, faute de diversité, la tristesse s'abattit sur les vêtements aux teintes grises, marron, ou blanche délavée que la disparition des détergents empêchait de rendre vraiment blanches sinon plus blanches que le blanc. Plus question de porter des jeans : le colorant bleu artificiel ne pouvant être remplacé par les faibles quantités de produits issus du pastel dont la région toulousaine avait repris la culture.

La situation devenait intolérable ! La population ne disposait plus de moyens d'expressions :

- plus de papier ni d'encre d'imprimerie ;
- radio et TV arrêtées : fils conducteurs et antennes non remplacées, écrans détruits, électroniques sans composants.

Des forums servirent alors de lieu de ralliement où chacun pouvait s'exprimer unanimement un accord fut conclu : une délégation devait intervenir auprès des politiques pour que cette situation cesse et que les chimistes reprennent leurs activités.

Un comité, fut chargé de rencontrer les chimistes pour les convaincre de revenir sur leur décision. Ce ne fut pas chose facile car il fallait d'abord les retrouver. Comme ils l'avaient dit au début des hostilités, tous s'étaient reconvertis.

Et les français stupéfaits découvrirent ainsi que derrière la chimie, il y avait les chimistes et que ceux-ci étaient des hommes et des femmes comme eux partageant les mêmes joies et les mêmes soucis, respectueux de la nature et de l'environnement.

Le début des négociations fut marqué par les hésitations des chimistes qui gardaient le souvenir des reproches passés. Après réflexions, ils acceptèrent de signer un accord sous réserve de l'acceptation par la communauté d'un certain nombre de règles rassemblées dans une charte. Voici les principaux articles de cette charte :

1) Les signataires ayant reconnu le bilan positif de l'action des chimistes s'engagent à ne plus rendre les chimistes ni leur spécialité, responsables de tous les maux ;

2) Chaque fois que nécessaire, ils attribueront aux chimistes les actions positives dont ils sont à l'origine et qu'ils avaient tendance à porter au bénéfice d'autres disciplines. Par exemple un médicament synthétisé par un chimiste ne sera plus obligatoirement le résultat unique d'une victoire de la médecine.

3) Au lieu d'insister seulement sur les côtés négatifs d'une découverte chimique, une analyse objective de son apport à la société sera pratiquée avant toute diffusion ou prise de position.

En contrepartie, les chimistes s'engagent à reprendre leurs activités et à poursuivre leurs efforts pour mettre en place une politique de civilisation durable, respectant l'homme et son environnement et garantissant les effets positifs du progrès aux générations futures.

Annexe 5 : les objectifs du développement durable récupérée de <http://www.un.org/sustainabledevelopment/fr/> le 20 décembre 2016.

17 OBJECTIFS POUR TRANSFORMER NOTRE MONDE

- Objectif 1 : Éliminer la pauvreté sous toutes ses formes et partout dans le monde
- Objectif 2 : Éliminer la faim, assurer la sécurité alimentaire, améliorer la nutrition et promouvoir l'agriculture durable
- Objectif 3 : Permettre à tous de vivre en bonne santé et promouvoir le bien-être de tous à tout âge
- Objectif 4 : Assurer l'accès de tous à une éducation de qualité, sur un pied d'égalité, et promouvoir les possibilités d'apprentissage tout au long de la vie
- Objectif 5 : Parvenir à l'égalité des sexes et autonomiser toutes les femmes et les filles
- Objectif 6 : Garantir l'accès de tous à l'eau et à l'assainissement et assurer une gestion durable des ressources en eau
- Objectif 7 : Garantir l'accès de tous à des services énergétiques fiables, durables et modernes, à un coût abordable
- Objectif 8 : Promouvoir une croissance économique soutenue, partagée et durable, le plein emploi productif et un travail décent pour tous
- Objectif 9 : Bâtir une infrastructure résiliente, promouvoir une industrialisation durable qui profite à tous et encourager l'innovation
- Objectif 10 : Réduire les inégalités dans les pays et d'un pays à l'autre
- Objectif 11 : Faire en sorte que les villes et les établissements humains soient ouverts à tous, sûrs, résilients et durables
- Objectif 12 : Établir des modes de consommation et de production durables
- Objectif 13 : Prendre d'urgence des mesures pour lutter contre les changements climatiques et leurs répercussions
- Objectif 14 : Conserver et exploiter de manière durable les océans, les mers et les ressources marines aux fins du développement durable
- Objectif 15 : Préserver et restaurer les écosystèmes terrestres, en veillant à les exploiter de façon durable, gérer durablement les forêts, lutter contre la désertification, enrayer et inverser le processus de dégradation des sols et mettre fin à l'appauvrissement de la biodiversité
- Objectif 16 : Promouvoir l'avènement de sociétés pacifiques et ouvertes aux fins du développement durable, assurer l'accès de tous à la justice et mettre en place, à tous les niveaux, des institutions efficaces, responsables et ouvertes
- Objectif 17 : Renforcer les moyens de mettre en œuvre le partenariat mondial pour le développement durable et le revitaliser

RESUME :

Ce mémoire propose d'introduire le concept de l'éducation au développement durable (EDD) dans le curriculum de chimie et à élaborer des fiches pédagogiques sur le thème de la chimie verte pour la classe de terminale S.

La première partie renferme les repères théoriques concernant le concept de DD, d'EDD et celui de la chimie verte. La deuxième partie consiste à l'analyse des politiques et des stratégies éducatives sur l'EDD ainsi que l'analyse du programme scolaire malgache. L'analyse a montré que l'EDD n'y est pas encore suffisamment intégrée et qu'une révision du programme scolaire doit être effectuée, d'abord pour intégrer toutes les thématiques du DD mais surtout de réorganiser l'emploi du temps pour faciliter l'intégration de nouveaux concepts. La dernière partie de ce travail consiste à l'élaboration d'une fiche pédagogique : initiation à la chimie verte. Une étude des forces, faiblesses, opportunités, risques liés à ce projet d'introduction du thème de chimie verte a été effectuée, pour cela un entretien a été réalisé auprès de deux enseignants de sciences physiques du lycée Moderne Ampéfiloha. Pour améliorer l'enseignement de chimie, la fiche pédagogique introduit de nouvelles notions comme l'économie d'atome et le facteur environnemental, elle est aussi accompagnée de fiches d'exercices comportant des activités qui incitent les élèves à participer à la protection de l'environnement. Pour chaque exercice, l'évaluation fait référence à la taxonomie de Bloom en visant non seulement les niveaux inférieurs mais aussi les niveaux supérieurs.

Auteur: Mr. ANDRIANJOHANY Nambinintsoa Fiononana Sedera

Mots clés : éducation, développement durable, éducation au développement durable, chimie verte, curriculum de chimie, terminale S.

Nombres de pages : 88.

Nombres de figures : 2.

Nombre de tableaux : 2.

Téléphone : +261347457771

Adresse électronique : nambinintsoandrianjohany@gmail.com

Adresse : Bloc 63 Ankatso II, Tana 101.

Directeur de mémoire : Madame RAZAFIMBELO Judith, Professeur titulaire.