

UNIVERSITÉ DE YAOUNDÉ I
THE UNIVERSITY OF YAOUNDE I

ÉCOLE NORMALE SUPÉRIEURE DE YAOUNDÉ
HIGHER TEACHER'S TRAINING COLLEGE OF YAOUNDE



DÉPARTEMENT D'INFORMATIQUE ET DES TECHNOLOGIES ÉDUCATIVES
COMPUTER SCIENCES DEPARTEMENT AND EDUCATIVE TECHNOLOGY

Année Académique 2015-2016
2015-2016 Academic year

DÉVELOPPEMENT D'UN LABORATOIRE VIRTUEL SUR LES SOLUTIONS
AQUEUSES EN CLASSE DE 3^{ème} AU CAMEROUN

Mémoire par :

EMBOLO OWONA Sandrine – 07B431EG
Licenciée en Sciences et Techniques de Gestion

KANYOU Claude – 11Y386
Licencié en Informatique

NGANSOP NJIPKAM Adonice Patient – 11Y407
Licencié en Informatique

En vue de l'obtention du
DIPLÔME DE PROFESSEUR DE L'ENSEIGNEMENT SECONDAIRE GÉNÉRAL
SECOND GRADE
Filière : Informatique

Soutenu publiquement le 27 Juin 2016 devant le jury :

Président :	AYISSI ETÉMÉ Adolphe	Chargé de cours à l'Université de Yaoundé I
Rapporteur :	PRISO NDEDI	Chargé de cours à l'Université de Yaoundé I
Examineur :	NGNOULAYE Janvier	Chargé de cours à l'Université de Yaoundé I

« Aller jusqu'au bout, ce n'est pas seulement résister, mais aussi se laisser aller. »

Albert Camus. Carnets.

◆ Dédicace ◆

A toute ma famille, en particulier mes parents M. OWONA FOU DA Jacques et Mme MENYENG ETOA Elisabeth Epouse OWONA Virginie pour leur soutien indéfectible.

EMBOLO OWONA Sandrine

A mon papa TEMOLE David, à moi même pour ma bravoure, à ma maman TCHUISSEU Dénisette et à mes Frères et Sœurs pour leur bienveillance distinguée.

KANYOU Claude

Je dédie ce travail à mes parents: ma mère Mme DJOMO TOUKAM Philomène épouse NGANSOP et mon père M NGANSOP Joseph pour leur amour, leur conseil, leur soutien inconditionnel et pour toute la joie qu'ils me procurent. Qu'ils trouvent en ce travail le fruit de tous leurs efforts et sacrifices conjugués à mon endroit.

NGANSOP NJIPKAM Adonice

◆ Remerciements ◆

Avant toute chose, nos remerciements à *DIEU Tout Puissant*, qui nous a accordé la *santé* et l'*intelligence* nécessaires pour que nous puissions réaliser ce travail, et à tous ceux qui de près ou de loin, ont contribué à la réalisation de ce travail. Nos vifs remerciements particulièrement à :

- Pr *Nicolas Gabriel ANDJIGA*, Directeur de l'École Normale Supérieure (ENS) de Yaoundé, pour le cadre convivial et sain qu'il nous a offert durant notre formation ;
- Pr *FOUDA NDJODO Marcel*, chef de Département d'Informatique et des Technologies Éducatives (DITE) à l'ENS de Yaoundé, pour la formation offerte et les conseils prodigués ;
- Dr *PRISO NDEDI*, notre encadreur, pour la disponibilité, la patience, les conseils et les orientations qui ont permis de mener à bien ce travail ;
- Sans oublier tout le personnel enseignant du *D.I.T.E* de l'E.N.S de Yaoundé, pour la disponibilité et les enseignements de qualité qu'ils nous ont offert ;
- Nos amis et camarades de promotion, pour toutes les expériences enrichissantes que nous avons partagées.

Ces remerciements ne seraient pas complets si je n'y associais pas :

Mme *EYA'ANE SOLANGE* ma tante, Mme *OWONA Honorine* ma deuxième mère, M *ETOUNG Martin* et M *NKOA Serge Moise* mes oncles, M *OBAMA ETOUNDI Romain* mon chéri, mes frères, mes sœurs, mes amis, pour la motivation qu'ils ont suscitée en moi, leur affection et leur soutien multiforme.

EMBOLO OWONA Sandrine

Toute ma *Famille et belle Famille* pour son soutien multidimensionnel et par extension à : M *SASAKO Fritz Gerald*, Secrétaire Général du Ministère des Marchés Publics ; M *MEBENGA Jean-Pierre*, Directeur Adjoint de l'École National Supérieur des Travaux Publics (ENSTP) ; M *NGUEUSSONG Gerald*, Chef de la cellule Informatique au Ministère des Finances ; Ainsi que *Tout ceux qui m'aiment*.

KANYOU Claude

Tous les membres de ma famille en particulier ma grande mère, mes grands frères *NKOMGANG Georges*, *NGANSOP Arnaud*, mes sœur *NGANSOP Lucrèce* *NGANSOP Guilhem*, *Fresnel*, *Phalone*, *toutes mes tantes*, mon oncle *M YOUMESSI Lucas* et tous mes amis qui ont tous d'une façon ou d'une autre contribué à la réalisation de ce travail. J'adresse un remerciement particulier à *Mademoiselle NZIENGAM Nafissetou* pour le soutien indéfectible qu'elle m'a toujours accordé.

NGANSOP NJIPKAM Adonice

◆ Table des Matières ◆

Dédicace	i
Remerciements	ii
Table des Matières	iii
Acronymes et Abréviations	ix
Résumé	xi
Abstract	1
Introduction générale	2
Contexte	2
Problématique	2
Question de recherche	3
Questions connexes	3
Hypothèse de recherche	3
Hypothèses connexes	3
Objectif de l'étude	3
Organisation du travail	3
1 Revue de la littérature	5
1.1 Définition des concepts clés	5
1.1.1 Développement logiciel	5
1.1.2 Laboratoire virtuel	5
1.1.3 Solutions aqueuses	6
1.2 Définition des concepts généraux	6
1.2.1 Le modèle ADDIE (Analysis Design Développement Implementation Evaluation)	6
1.2.2 Cycle de développement de logiciel	7
1.2.3 Le modèle APTE	8
1.2.4 Formalisme MAD	9
1.2.5 Conception centrée-utilisateur	10

1.2.6	Théorie explicative de l'étude	10
1.2.7	Élaboration des stratégies d'apprentissage	10
1.3	Études similaires antérieures	11
2	Matériels et méthodes	13
2.1	Matériels	13
2.1.1	Matériels de développement	13
2.1.2	Ressources documentaires	13
2.1.3	Ressources logicielles	13
2.1.4	Besoins système (BS)	14
2.2	Méthodes	14
3	Résultats et Discussion	16
3.1	Analyse pédagogique	16
3.1.1	Analyse des besoins	16
3.1.2	Analyse des moyens existants	18
3.1.3	Pertinence du produit	18
3.2	Analyse logicielle : ingénierie des besoins	19
3.2.1	L'analyse fonctionnelle (A.F)	19
3.2.2	Acteur du système	33
3.3	Analyse ergonomique	34
3.3.1	Description des utilisateurs	34
3.3.2	Analyse de la tâche	34
3.4	Conception Pédagogique	37
3.4.1	Cadrage des objectifs spécifiques	37
3.5	Conception logicielle	42
3.5.1	Synthèse des spécifications	42
3.5.2	Conception architecturale	43
3.5.3	Conception détaillée	51
3.6	Conception ergonomique	51
3.6.1	La charte graphique	51
3.6.2	Description des interfaces	54
3.7	Implémentation	57
3.8	Discussion	58
4	Implications sur le système éducatif	66
4.1	Implications pédagogiques pour l'apprenant (élève)	66
4.2	Implications pédagogiques / didactiques pour l'enseignant	67
4.3	Implications pour le corps administratif	68
	Conclusion générale et perspectives	69
	Annexes A : Principes de conception logiciel	72
	Annexes B : Fiche questionnaire des Enseignants, des élèves	78

◆ Liste des Figures ◆

Table des Figures	vi
1.1 Phase du modèle ADDIE	7
1.2 Exemple de modèle enrichi sous l'angle des interactions homme-machine : Nabla	7
1.3 Vue panoramique de l'analyse fonctionnelle avec la méthode APTE[2]	8
1.4 Illustration de la différence et complémentarité entre besoin et fonction[2]	9
1.5 Diagramme de «bête à cornes»	9
1.6 Étapes de la conception centrée-utilisateur	10
3.1 Verbalisation du besoin d'aide dans <i>VirtualSolAq3</i>	22
3.2 Verbalisation du besoin de maîtriser le mécanisme d'équilibre d'une équation chimique de mise en solution	23
3.3 Verbalisation du besoin de visualiser l'effet de la dilution sur la concentration d'une solution	24
3.4 Verbalisation du besoin de comprendre le phénomène de la saturation d'une solution aqueuse	25
3.5 Verbalisation du besoin d'identifier la formule chimique d'un nom d'ion	26
3.6 Verbalisation du besoin de caractériser une solution aqueuse à l'aide d'un indicateur coloré	27
3.7 Verbalisation du besoin de caractériser une solution à l'aide du papier pH	28
3.8 Verbalisation du besoin de déterminer la valeur du pH d'une solution à l'aide du pH-mètre	29
3.9 Verbalisation du besoin d'envoyer une notification aux éditeurs de <i>VirtualSolAq3</i>	30
3.10 Diagramme de Pieuvre de <i>VirtualSolAq3</i>	32
3.11 Modèle de tâche pour l'activité équilibrée une équation chimique de mise en solution	34
3.12 Modèle de tâche pour l'activité mesurée pH d'une solution aqueuse	35
3.13 Modèle de tâche pour l'activité mesure concentration	35
3.14 Modèle de tâche pour l'activité d'intégration	36
3.15 Modèle architectural des modules pédagogiques de <i>VirtualSolAq3</i>	42
3.16 Modèle architectural communicationnel des sous-systèmes	46
3.17 Décomposition en module du sous-système : Manipulation	46
3.18 Décomposition en module du sous-système : Simulation et expérimentation	47

3.19	Décomposition en module du sous-système : Moteur d'inférence de correction automatique	47
3.20	Décomposition en module du sous-système : Dynamique d'état d'exécution	48
3.21	Décomposition en module du sous-système : Communication	48
3.22	Décomposition en module du sous-système : Documentation	49
3.23	Modèle architectural de VirtualSolAs3	50
3.24	Maquette des pages de <i>VirtualSolAq3</i>	53
3.25	Structure gravitationnelle de <i>VirtualSolAq3</i>	54
3.26	Page d'accueil de <i>VirtualSolAq3</i>	55
3.27	Page des menus de <i>VirtualSolAq3</i>	55
3.28	Page d'aide générale de <i>VirtualSolAq3</i>	56
3.29	Page d'aide mesure du pH avec pH-mètre de <i>VirtualSolAq3</i>	56
3.30	Page d'aide mesure du pH avec papier pH de <i>VirtualSolAq3</i>	57
3.31	Page de l'action des indicateurs colorés de <i>VirtualSolAq3</i>	57
3.32	Menu accueil de <i>VirtualSolAq3</i>	58
3.33	Équilibre équation de mise en solution aqueuse : état de déséquilibre	59
3.34	Équilibre équation de mise en solution aqueuse : état d'équilibre	59
3.35	Activité d'intégration d'identification d'ion : état d'identification	60
3.36	Activité d'intégration d'identification d'ion : état correction de l'identification	60
3.37	Activité d'intégration d'écriture correcte d'équation de mise en solution : état d'écriture	61
3.38	Activité d'intégration d'écriture correcte d'équation de mise en solution : état correction	61
3.39	Expérimentation du mesure du pH de la solution de chlorure d'hydrogène avec le papier pH : état d'initialisation	62
3.40	Expérimentation du mesure du pH de la solution de chlorure d'hydrogène avec le papier pH : Mesure effective	63
3.41	Expérimentation du mesure du pH du jus de citron avec le pH mètre : état d'initialisation	64
3.42	Expérimentation du mesure du pH du jus de citron avec le pH mètre : Mesure effective	64
1	Illustration du principe d'inversion de dépendances	73
2	Illustration du principe des dépendances acycliques	74
3	Illustration du non-respect du principe des dépendances acycliques	75

◆ Liste des Tableaux ◆

Liste des Tableaux	viii
1.1 Différences entre laboratoire physique et laboratoire virtuel	6
1.2 Les trois questions à se poser pour la verbalisation du besoin	8
3.1 Énonce des besoins	21
3.2 Décomposition de VirtualSolAq3 en sous-système	45
3.3 Synthèse des critères de l'utilisabilité selon Bastien et Scapin (1993)[1]	53

◆ Acronymes et Abréviations ◆

AF : Analyse Fonctionnelle

AFNOR : Association Française de Normalisation

ADDIE : Analysis Design Development Implementation Evaluation

APTE : Application aux Techniques d'Entreprise

BF : Besoin Fonctionnel

BNF : Besoin Non Fonctionnel

BS : Besoin Système

CNRTL : Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales

DITE : Département d'Informatique et de Technologies Éducatives

EIAH : Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain

ENS : École Normale Supérieure

FC : Fonctions contraintes

FP : Fonctions Principales

IHM : Interface Homme Machine

INE : Ingénierie Numérique pour l'Éducation

LGL : Lycée Général Leclerc

MAD : Modèle d'Analyse et de Définition des Tâches

MINEDUC : Ministère de l'Éducation

MINESEC : Ministère de l'Enseignement Secondaire

MINESUP : Ministère de l'Enseignement Supérieur

PCT : Physique Chimie et Technologie

pH : Potentiel d'Hydrogène

POO : Programmation Orientée Objet

QCM : Questions à Choix Multiples

SGI : Solutions Générales Implicites

TIC : Technologies de l'Information et de la Communication

TICE : Technologies de l'Information et de la Communication pour l'Éducation

UML : Unified Modeling Language

◆ Résumé ◆

À l'ère du numérique, l'évaluation de la qualité de l'enseignement et de la formation scientifique doit permettre aussi au Cameroun d'*améliorer la qualité de son système éducatif* par l'exploration de nouvelles perspectives qu'offre l'ingénierie du numérique pour l'éducation (*INE*). En raison de *graves lacunes budgétaires*, nous sommes confrontés dans nos Écoles à une sévère *pénurie de matériel et d'équipements scientifiques adéquats*. Ainsi, les enseignants et apprenants des pays du sud et du Cameroun en particulier, sont confrontés à de *gros défis* (manque de laboratoires équipés, laboratoires défectueux, effectif pléthorique) lié au système éducatif, notamment pour ce qui est de la *chimie* science expérimentale qui doit s'enseigner comme telle. Cependant, comment ces enseignants et apprenants peuvent-ils bénéficier des prouesses des outils des technologies de l'information et de la communication pour l'éducation (*TICE*) dans leurs pratiques pédagogiques ? C'est ainsi que nous nous investissons dans l'*ingénierie numérique pour l'éducation* en proposant un nouvel outil TICE pour l'enseignement de la chimie, notamment des solutions aqueuses en classe de 3^{ème} au Cameroun. Ceci avec pour objectif ultime d'accroître l'efficacité de l'enseignement et l'amélioration de l'apprentissage des solutions aqueuses en classe de 3^{ème} au Cameroun. Cette démarche d'investigation techno scientifique est concrétisée par un laboratoire virtuel : *VirtualSolAq3*.

Mots clés : développement, laboratoire virtuel, solution aqueuse, ingénierie pédagogique.

◆ Abstract ◆

In the digital era of globalization, assessing the quality of education and scientific training should also enable Cameroon to improve the quality of its education system in exploring new perspectives offered by the *digital engineering for education*. Due to *severe budget gaps* we face in our schools to a severe shortage of adequate equipment and scientific equipment. Thus, teachers and learners of the south countries and Cameroon in particular are facing major challenges (lack of equipped laboratory, faulty laboratory overstaffed) related their education systems, particularly in terms of chemistry experimental science should be taught as such. However, how these teachers and learners can they benefit prowess tools of *Informations and Communications Technology for Education (ICTE)* in their teaching practices? Thus we are investing in digital engineering to education by offering a new ICT tool for the teaching of chemistry, particularly aqueous solutions in 3rd class in Cameroon. This with the ultimate goal of increasing the effectiveness of teaching and learning improvement aqueous solutions in 3rd class in Cameroon. This approach to techno scientific investigation is embodied in a virtual laboratory : *VirtualSolAq3*.

Keys Words : Development, virtual laboratory, aqueous solutions, pedagogic design.

◆ Introduction générale ◆

Contexte

Le Cameroun est un pays dans lequel l'état accorde une importance particulière à l'éducation, et met en œuvre, à la limite de ses capacités, les moyens nécessaires pour que celle-ci soit accessible à tous. La volonté gouvernementale est d'assurer « la formation de citoyens enracinés dans leur culture, mais ouverts au monde et respectueux de l'intérêt général et du bien commun » : tel est le contenu de l'article 5 alinéa 1 de la Loi no 98/004 du 14 avril 1998 d'orientation de l'éducation au Cameroun. Il s'agit pour l'État de former des jeunes capables de s'arrimer aux évolutions diverses et bénéfiques qu'offre le monde. Et dans cette optique, de nombreuses mesures ont été prises notamment : l'introduction de l'informatique comme discipline d'enseignement à part entière au secondaire à travers l'arrêté N° 3745/P/63/MINEDUC/CAB du 16/06/2003, la création du DITE (Département d'Informatique et des Technologie Éducative) pour la formation des enseignants d'informatique à l'E.N.S de Yaoundé par l'arrêté N° 18070753/MINESUP/DDES du 07 septembre 2007, et la création de la série TI dans les établissements d'enseignement secondaires par l'arrêté N° 25/11/MINESEC/CAB du 13 janvier 2011. Ces mesures énoncent clairement la nécessité de faire de l'informatique une discipline porteuse. Seulement, l'enseignement à travers les TIC reste d'une rareté criarde dans les lycées. L'utilisation des T.I.Cs qui pourtant, peut constituer un début de solution aux problèmes rencontrés dans le système éducatif camerounais reste fortement négligée.

Problématique

La *manipulation* est un élément clé dans les *sciences expérimentales* comme la *chimie*, que l'on peut définir comme étant l'étude de la constitution des corps, de leurs propriétés, de leurs actions réciproques et des combinaisons qui en résultent[?]. C'est une science qui requiert l'usage des pratiques expérimentales pour être bien dispensée par les enseignants, et normalement assimilée par les élèves. Seulement, fort est le constat avec *Henri ATANGANA ONDOA* selon lequel : la plupart des établissements au Cameroun n'ont pas de laboratoires équipés et fonctionnels ou de laboratoires simplement, permettant aux élèves d'éprouver par des expériences, les leçons théoriques abordées en salle de classe[15]. L'élève n'a que les explications de l'enseignant et les illustrations figées de son livre, pour comprendre des notions qui requièrent observation et manipulation. Faute de moyens financiers évidents de la part des parents, il arrive souvent qu'il n'ait même pas le livre inscrit au programme, pour apprécier le cours sous un autre angle et faire des exercices une fois de retour chez lui. Voilà qui pourrait alors expliquer les faibles taux de réussite enregistrés dans cette discipline, dans les établisse-

ments (LGL, lycée de la cité verte, lycée d'Etoug-Ebe) où nous avons mené notre enquête. *Dans ces conditions, comment faudrait-il procéder pour permettre à l'élève de bien comprendre et assimiler ses leçons aussi bien sur le plan théorique qu'expérimental ?*

Question de recherche

Comment faudrait-il procéder pour permettre à l'élève de la classe de 3^{ème} au Cameroun de bien comprendre et assimiler ses leçons portant sur les solutions aqueuses aussi bien sur le plan théorique qu'expérimental ?

Questions connexes

Nous en distinguons principalement deux (02) :

- **Question 1** : Un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) est-il à la portée d'un grand nombre d'élèves ?
- **Question 2** : l'utilisation d'un laboratoire virtuel peut-elle apporter une solution au problème de manque de laboratoires physiques dans les lycées et collèges de la république ?

Hypothèse de recherche

L'on peut améliorer la compréhension des notions abordées en chimie et partant, la qualité des résultats des élèves, par le développement d'un EIAH spécifique.

Hypothèses connexes

- **Hypothèse 1** : un Environnement Informatique pour l'Apprentissage Humain (EIAH) est à la portée d'un grand nombre d'élèves.
- **Hypothèse 2** : l'utilisation d'un laboratoire virtuel peut apporter une solution au manque de laboratoires physiques dans les lycées.

Objectif de l'étude

L'objectif principal de ce travail est de développer une solution logicielle investie dans le développement d'un laboratoire virtuel portant sur les solutions aqueuses en classe de 3^{ème} au Cameroun ; afin de permettre aux élèves de la classe considérée de mieux comprendre les concepts ou notions abordées.

Organisation du travail

L'ingénierie numérique pour l'éducation est un sujet d'actualité, que nous souhaitons matérialiser par le développement d'un laboratoire virtuel sur les solutions aqueuses en classe de 3^{ème} du sous-système francophone de l'enseignement général au Cameroun. Pour ce faire, nous organisons notre travail en quatre (4) chapitres après une introduction générale. C'est ainsi que nous avons : le premier chapitre portant sur la revue de la littérature, le deuxième chapitre sur les matériels et méthodes, le

troisième chapitre sur les résultats et discussions, et le dernier chapitre sur l'implication sur le système éducatif. Puis, il va s'en suivre la conclusion générale et les perspectives ; sans oublier les références bibliographiques accompagnées d'annexes.

Revue de la littérature

Il sera question dans ce chapitre d'expliciter tous les modèles, concepts clés, théories que nous aurons à utiliser dans le cadre de ce mémoire ; aussi une *analyse critique* des travaux antérieurs relatifs au développement de laboratoires virtuels.

1.1 Définition des concepts clés

1.1.1 Développement logiciel

Le *développement logiciel* est l'ensemble des étapes et processus qui permettent de passer de l'expression d'un besoin informatique à un logiciel fonctionnel et fiable. Encore appelé cycle de vie d'un logiciel, il se fait selon des méthodes précises. De manière générale, nous avons : l'ingénierie des besoins, la conception architecturale et détaillée, l'implémentation, tests, maintenances. La *vérification* et la *validation* sont transversales dans ce processus.

1.1.2 Laboratoire virtuel

Au premier abord, un *laboratoire* est un : «Local pourvu des installations et des appareils nécessaires à des manipulations et des expériences effectuées dans le cadre de recherches scientifiques, d'analyses médicales ou de matériaux, de tests techniques ou de l'enseignement scientifique et technique. » (Centre National de Ressources Textuelles et Lexicales)¹.

Subséquent, selon UNESCO 2000 [18], un *Laboratoire virtuel* : est « un espace de travail électronique pour la collaboration à distance et l'expérimentation dans la recherche ou dans d'autres activités créatives, en vue de générer et de diffuser des résultats au moyen de technologies partagées de l'information et de la communication». Ainsi, un laboratoire virtuel peut se concevoir comme étant un EIAH permettant de *simuler* toutes les activités pouvant être menées dans un laboratoire physique ou réel.

Différence entre un laboratoire réel et un laboratoire virtuel À partir des définitions sus citées, nous pouvons établir les différences suivantes :

¹consulter le 23 mai 2016, <http://www.cnrtl.fr/definition/laboratoire>

Laboratoire physique	Laboratoire virtuel
Matériel spécialisé	l'ordinateur
Utilisation des réactifs	Simulations
Essais limités dans l'expérimentation	Possibilité de reprendre l'expérience plusieurs fois
Ne permet pas le travail à distance	peut permettre le travail à distance (distribué)
Maintenance difficile	Maintenance relativement facile
Risque pendant les manipulations (sécurité)	pas de risque

Table 1.1: Différences entre laboratoire physique et laboratoire virtuel

1.1.3 Solutions aqueuses

Une *solution* est le résultat que l'on obtient après la *dissolution* d'une espèce chimique appelée *soluté*, dans un *solvant*. Avec Nazaire, une *solution aqueuse* est une solution qui a pour solvant l'*eau*[9].

1.2 Définition des concepts généraux

1.2.1 Le modèle ADDIE (Analysis Design Développement Implementation Evaluation)

Selon Gilbert Paquette «L'ingénierie pédagogique désigne l'ensemble des processus mis en œuvre pour produire de façon systémique et planifiée un produit ou un environnement d'apprentissage»[16]. L'ingénierie pédagogique regroupe alors toutes les activités qui jalonnent un processus d'apprentissage, depuis l'analyse des besoins, jusqu'à la mise en place d'un produit de qualité.

Présentation du modèle ADDIE

- La *phase d'analyse* : cette phase oriente le projet de développement du système d'apprentissage. Il s'agit d'analyser le besoin de formation en spécifiant notamment la nature exacte du problème que le système d'apprentissage doit viser à résoudre ;
- La *phase de conception* : elle consiste à spécifier les objectifs d'apprentissage et à formaliser les scénarios pédagogiques issus de la phase d'analyse.
- La *phase de développement* : il s'agit de l'implantation effective du produit dans un système donné, à l'aide de divers outils (papier, crayon, traitement de texte, éditeur graphique, logiciel de programmation, etc.) ;
- La *phase d'implémentation* : il s'agit de rendre le système d'apprentissage disponible ;
- La *phase d'évaluation* : cette phase consiste à porter un jugement (qualité, efficacité) sur le système en vue de perspectives d'amélioration et de prise de décision. C'est ainsi qu'avec Flesher et al., 2004[11] nous avons :

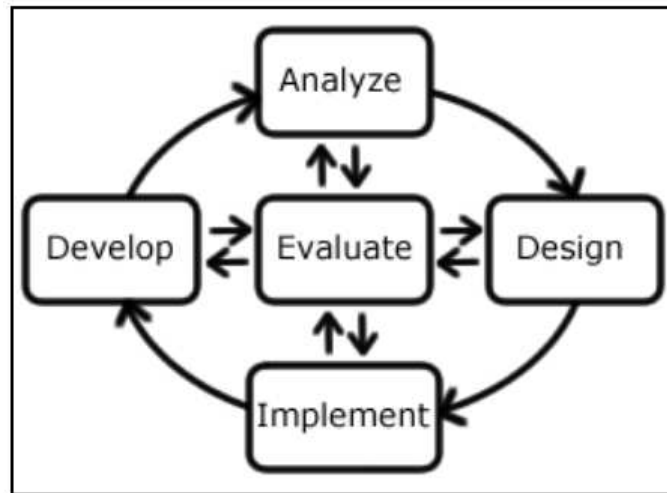


Figure 1.1: Phase du modèle ADDIE

1.2.2 Cycle de développement de logiciel

Un cycle de développement de logiciel désigne : «la description d'un processus couvrant les phases de création d'un produit, distribution sur un marché, et disparition»[3].

Le cycle développement *Nabla* est dédié à la conception de systèmes interactifs, et constitué d'un double cycle en V, celui de gauche focalisé sur la *partie interactive*, celui de droite sur la partie applicative.[8] Nous avons l'illustration suivante :

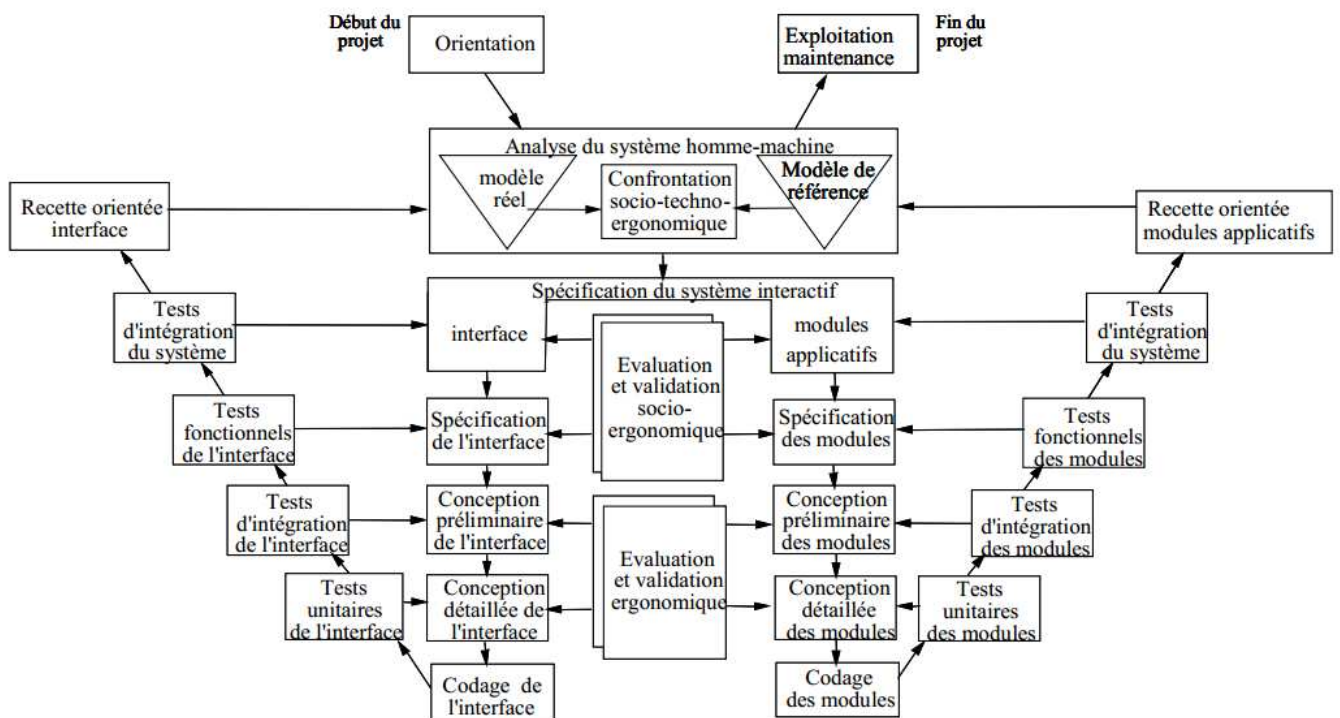


Figure 1.2: Exemple de modèle enrichi sous l'angle des interactions homme-machine : Nabla

1.2.3 Le modèle APTE

La méthode APTE (*Application aux Techniques d'Entreprise*)² est une méthode d'analyse fonctionnelle (AF) pour la conduite d'un projet d'innovation et d'optimisation. Selon cette méthode, l'AF est une démarche qui décrit complètement les *fonctions* et leur *relation*. Elle utilise deux outils : le «*diagramme de bête à cornes*» pour l'analyse du besoin et le «*diagramme de pieuvre*», encore appelé graphe fonctionnel pour définir les *fonctions de service* «*Action du produit avec son milieu extérieur, qui contribue à la satisfaction du besoin.*» (Audry, 2010) [2]. Cet outil présente deux types de fonctions de services :

- * **Les fonctions³ principales (F.P)** : mettent en relation, à travers le produit, au moins deux éléments du monde extérieur. Ce sont ces fonctions qui justifient la raison d'être du produit ;
- * **Les fonctions contraintes (F.C)** : mettent en relation un seul élément du monde extérieur en relation avec le produit. Elle représente les *exigences*.

Une vue panoramique de cette démarche est la suivante :

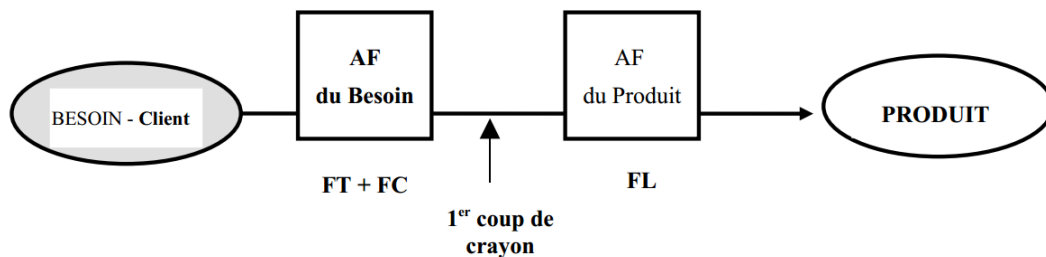


Figure 1.3: Vue panoramique de l'analyse fonctionnelle avec la méthode APTE[2]

Définition de la notion de besoin Avec la norme AFNOR (Association Française de NORmalisation) *NF X 50 150*, le besoin se définit comme suit : «*un besoin est un désir (ou une nécessité) éprouvé par l'utilisateur d'un système[...] et pour lequel il est prêt à faire un effort.*» (Audry,2010)[2] «*Un besoin est un désir (ou une nécessité) éprouvé par l'utilisateur d'un système*». Nous définissons ainsi un besoin comme étant : *une nécessité exprimant un manque à satisfaire dans le temps.*

La verbalisation du besoin

Le tableau suivant représente les trois questions à se poser :

Questions	Réponses
« <i>À qu'il le produit rend-t-il service ?</i> »	<i>Au client</i>
« <i>Sur quoi le produit agit-il ?</i> »	<i>Sur la matière d'œuvre</i>
« <i>Dans quel but ?</i> » (pourquoi faire ?)	<i>Pour satisfaire le besoin</i>

Table 1.2: Les trois questions à se poser pour la verbalisation du besoin

²(source : site officiel <http://www.methode-apte.com>).

³Verbe ou d'un groupe verbal caractérisant l'action.

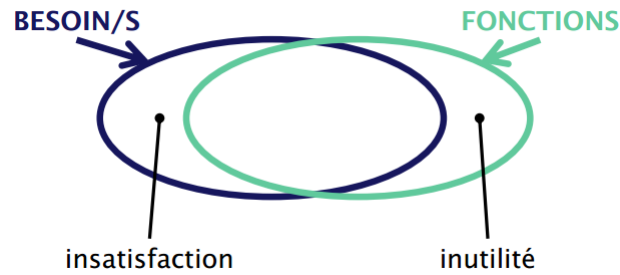


Figure 1.4: Illustration de la différence et complémentarité entre besoin et fonction[2]

L'énoncé du besoin En sommes, les réponses à ces trois questions aboutissent à un énoncé du besoin, qui obéit à un *schéma du besoin* (la «Bête à cornes» ©de la méthode APTE : qui doit être rédigée de la façon suivante :

«Le *produit* rend service au *client* en agissant sur la *matière d'œuvre* pour satisfaire le *besoin*.»

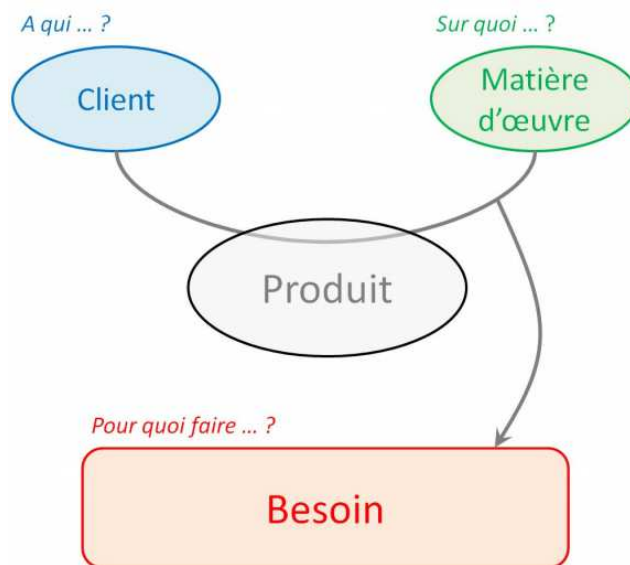


Figure 1.5: Diagramme de «bête à cornes»

1.2.4 Formalisme MAD

Le formalisme *MAD* a pour but de *représenter les tâches de l'utilisateur* de manière uniforme afin de poser les problèmes de conception ergonomiques sur des bases informationnelles solides. Celui-ci considère donc la façon dont l'utilisateur se représente la tâche. *MAD* propose une formalisation du raisonnement dans un *arbre hiérarchique* afin d'identifier les tâches, buts, sous-buts, modes opératoires. Pour cela, il utilise des constructeurs tels que[14] : *SEQ* (qui exprime l'enchaînement séquentiel de plusieurs tâches), *ALT* (qui traduit la possibilité de choix entre plusieurs tâches), *PAR* (qui désigne l'exécution entrelacée de plusieurs tâches par un même agent) *SIM* (qui dénote l'exécution simultanée de plusieurs tâches par des agents distincts).

1.2.5 Conception centrée-utilisateur

La conception centrée utilisateur prend en compte l'utilisateur dès la phase d'analyse comme illustré dans la figure suivante :

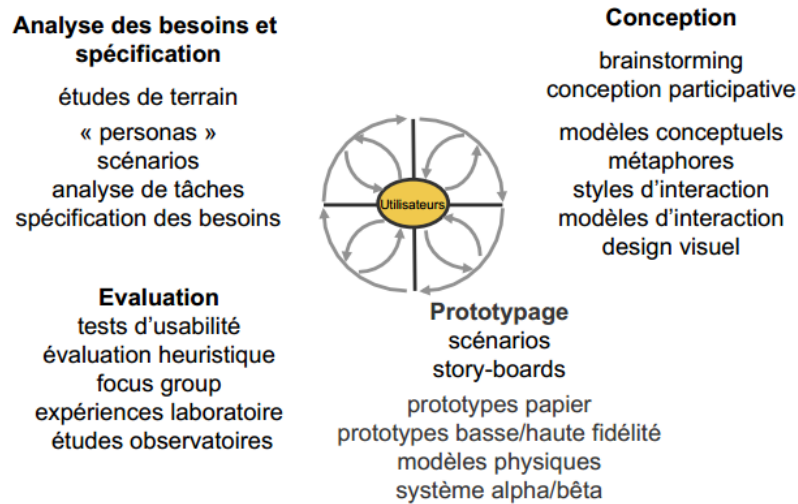


Figure 1.6: Étapes de la conception centrée-utilisateur

1.2.6 Théorie explicative de l'étude

Le paradigme de l'enseignement programmé de *CROWDER* est celui qui est à base de la réalisation technique de notre étude. En effet, cette théorie met en exergue le fait que : l'apprenant est au centre de son apprentissage, l'apprenant apprend à son rythme et de manière autonome, l'apprenant a la possibilité de comprendre pourquoi sa réponse est fautive et de corriger ses erreurs.

1.2.7 Élaboration des stratégies d'apprentissage

Une *stratégie pédagogique* est «la manière d'organiser, de structurer un travail, de coordonner une série d'actions, c'est l'ensemble des conduites ou interventions pédagogiques articulées entre elles en fonction d'un but, d'un objectif » [12].

Approches pédagogiques

L'*approche par objectifs* est celle qui désigne l'objectif comme outil d'orientation du processus d'enseignement/apprentissage et de vérification des résultats d'apprentissage. L'*approche par compétences* quant à elle est celle dans laquelle, les actions et les réflexes de l'apprenant deviennent la principale source de son apprentissage ; l'accent est mis sur l'utilisation par l'apprenant de ses connaissances dans le déroulement quotidien de ses activités, en vue de son *épanouissement* et d'une insertion aisée dans la vie active.

Les modèles d'apprentissage

Nous considérons les modèles suivants :

Le modèle behavioriste : ici, l'idée maîtresse est que «*le cerveau de l'apprenant est une boîte noire*». L'apprentissage est une *modification durable du comportement* résultant d'un entraînement particulier, qui peut se faire de deux façons : *conditionnement opérant* ou par *conditionnement répondant*.

Le constructivisme Ce modèle stipule que l'apprentissage est un processus de construction progressive des connaissances.

Les méthodes d'apprentissage

Il existe de nombreuses méthodes pour l'apprentissage : la *méthode expérientielle*, c'est une méthode axée sur l'apprenant et les activités. Deux éléments sont essentiels à l'efficacité de cette méthode : la réflexion personnelle sur une expérience et son application à d'autres contextes.

Les techniques pédagogiques

Une *technique pédagogique* est une action permettant à un formateur de susciter chez l'apprenant un ensemble de comportements d'apprentissage déterminés. Il existe de nombreuses techniques pédagogiques et le choix est fonction des objectifs visés, des contraintes, du contenu des apprentissages et des attentes des apprenants. Cependant, nous distinguons : la *simulation*, l'*expérimentation* et les *exercices*.

Les types d'évaluation

«*L'évaluation est un processus de recueil d'informations pertinentes pour une prise de décision.*» [17]. Elle est donc objective, qualitative, quantitative et orientée vers une prise de décision. C'est ainsi que nous aurons : l'*évaluation formative* et l'*évaluation sommative*.

Les types de questions à choix d'évaluation

Les *questions à choix* : ces questions sont généralement prisées pour leur facilité de correction et pour des raisons d'équité, de limitation de la subjectivité. Nous distinguons à cet effet : vrai/Faux, appariement, question à choix multiple (QCM), *QCM – SGI (Solutions Générales Implicites)*⁴

1.3 Études similaires antérieures

Le développement de laboratoires virtuels portant sur l'enseignement des sciences expérimentales a déjà fait l'objet de nombreuses études. Parmi lesquelles :

Le *LAVISNEX* (Laboratoire Virtuel des Sciences Naturelles et Expérimentales)[?] composé d'un cadre virtuel comprenant un ensemble d'expérimentations, d'observations, d'évaluations pour les élèves en Sciences Naturelles et Expérimentales du premier cycle de l'enseignement secondaire. Les thèmes abordés sont notamment : pour la classe de quatrième (Chimie : «séparation des constituants d'un corps», «composition de l'air», «mise en évidence du dioxyde de soufre», «combustion des corps», «différents états de l'eau»), pour la classe de troisième (Chimie : «électrolyse de l'eau »,

⁴Il s'agit de quatre solutions, valables pour tout le questionnaire, qui ne sont pas réécrites à chaque question.

«principe de distribution de l'eau courante» ; Physique : « mesurer le poids d'un corps à l'aide du dynamomètre » ; Technologie : «sens de rotation des poulies croisées»).

Le laboratoire virtuel des sciences expérimentales dans le cycle d'observation du secondaire : cas du logiciel de simulation des conditions de la germination des plantes en classe de 6^{ème} (NGONO et al. 2010)[10]. Ayant constaté la pénurie d'équipements pour l'enseignement des SVT dans les lycées, ces auteurs ont développé un logiciel éducatif permettant de résoudre ce problème ; mais, ils n'ont pas apprécié son effet sur les élèves concernés par l'étude.

Le *LAVIS* (Laboratoire Virtuel des Sciences de la Vie et de la Terre) développé par les deux premières promotions du DITE (Département d'Informatique et des Technologies Éducatives) de l'ENS de Yaoundé. Il se compose d'une série d'observations/expériences et d'évaluations (KAMENI et al. 2011)[7]. Les thèmes abordés ici sont les suivants : condition de germination, cycle de l'eau, notion d'électricité, notion de magnétisme, nutrition des plantes à fleurs (photosynthèse).

Le *LAVICH* (Laboratoire Virtuel de chimie pour la classe de 3^{ème} de l'enseignement secondaire au Cameroun) (DJOMOU et al. 2012)[6], porte sur la possibilité d'utiliser un laboratoire d'informatique pour faire les simulations virtuelles en chimie de la classe considérée, et permettre aux élèves de faire des manipulations, compte tenu de la rareté des laboratoires physiques. Du fait que *LAVICH* couvre l'ensemble des chapitres de chimie, l'on note ici que : la plupart des notions abordées ne sont pas développées minutieusement ; de plus un laboratoire virtuel n'est pas investi d'une vocation à substituer l'enseignant.

Bien que la notion de laboratoire virtuel du point de vue global ne soit pas un concept nouveau au sein du DITE, nous notons quelques insuffisances dans ces travaux notamment : *l'étude et le développement superficiel des contenus pédagogiques*, l'aspect *statique* du produit et *l'intention à substituer l'enseignant* par les laboratoires virtuels proposés. C'est ainsi que dans l'optique d'apporter des améliorations, voire une *plus-value*, nous nous investissons en *profondeur* sur les *solutions aqueuses* en classe de 3^{ème} au Cameroun. Nous développons *minutieusement* l'ensemble des notions/concepts clés pour *l'amélioration de la compréhension* des élèves ; ceci au moyen d'une large *gamme de manipulations et d'expérimentations* clôturées par des activités expérimentales d'intégration dans une *exécution dynamique*.

Délimitation de l'étude Pour réaliser notre projet, nous avons travaillé avec les élèves de la classe de troisième, toute série confondue, des lycées : général Leclerc, de la cité verte, d'Etoug-Ebe. Ce sont des lycées qui se trouvent à Yaoundé, la capitale du Cameroun.

La suite de notre propos porte sur les matériels et méthodes utilisées pour atteindre cette plus value apportée dans *VirtualSolAq3*.

Matériels et méthodes

Dans ce chapitre, nous nous investissons aux matériels et méthodes (pédagogique, logicielle et ergonomique)¹ utilisés pour la réalisation de *VirtualSolAq3*.

2.1 Matériels

2.1.1 Matériels de développement

Ici, nous dénotons : ordinateurs portables (au nombre de 3), Clé USB, modem ou clé Internet (WiMax).

2.1.2 Ressources documentaires

Nous avons : la loi d'orientation de l'éducation au Cameroun, les travaux réalisés par les élèves professeurs du D.I.T.E des promotions antérieures, le programme officiel de Physique Chimie et Technologie (P.C.T) de la classe de 3^{ème} au Cameroun, la littérature grise (thèses, mémoires, articles et revues scientifiques).

2.1.3 Ressources logicielles

Comme logiciel d'application pour le développement de *VirtualSolAq3*, nous avons :

- *GanttProject 2.6.6-r1715* : pour la *structuration* et le *suivi du projet*;
- *XMind 6 stable 2014* : pour le *mapping*, l'analyse des besoins et la conception architecturale de *VirtualSolAq3* ;
- La suite *Adobe Master Collection CS6* pour l'implémentation de *VirtualSolAq3* (*Adobe Flash Professional CS6, Adobe Flash Builder 4.6, Adobe Photoshop CS6, Adobe Audition CS6*) ;
- *Encyclopédie Universalis 2016* : pour appropriation accentuée des concepts ;
- *38 Dictionnaires et Recueils de Correspondance, Le Petit Robert, Jargon informatique* : pour la définition des concepts ;
- *TEX (MiKTeX 2.9, et TeXnicCenter 2.02 Stable)* : pour l'édition du mémoire ;

¹Démarche fondés sur les modèles et utilise les outils.

- *Antidote 8.4* : pour la correction orthographique, grammaticale et typographique.

2.1.4 Besoins système (BS)

Le fonctionnement de *VirtualSolAq3* requiert les matériels suivants : ordinateur équipé du lecteur *Flash Player 11.2*, navigateur internet pour les notifications (feedback), connexion Internet en cas de besoin de notification.

2.2 Méthodes

Pour obtenir un logiciel de qualité («*La qualité du processus de fabrication est garante de la qualité du produit*»), il faut en maîtriser le processus d'élaboration. C'est ainsi que le développement de *VirtualSolAq3* suit le modèle *Nabla* afin de l'enrichir sous l'angle des IHM autant que sous l'angle applicatif (logiciel). Étant donné que *VirtualSolAq3* est un logiciel destiné à être utilisé dans le système éducatif, son développement tient aussi compte de l'aspect pédagogique. Cet aspect de développement a été mis en oeuvre au moyen des *questionnaires* et des *interviews* réalisés auprès des élèves et des enseignants de la classe concernée dans trois lycées de la ville de Yaoundé (Lycée Général Leclerc, Lycée de la Cité Verte et Lycée Etoug-Ebé). C'est pourquoi le développement de *VirtualSolAq3* se décline d'abord sur l'axe pédagogique combiné à l'axe logiciel et à l'axe ergonomique.

La phase d'*analyse*, débute d'abord sur le plan pédagogique qui se réalise suivant le modèle *ADDIE*, ensuite s'en suit une analyse sur le plan logiciel avec la *méthode APTE* et enfin l'analyse ergonomique qui s'appuie sur le formalisme *MAD*[14]. Au terme de cette analyse sous ces trois axes : nous obtiendrons le *cahier de charge* (cdc) de *VirtualSolAq3*.

Suite à cette analyse, nous poursuivrons avec la *phase de conception* qui elle aussi se décline suivant ces trois axes : d'abord pédagogique suivant le modèle *ADDIE*, en suite : conception logicielle (*mécanisme logiciel* pour fournir et garantir les différentes fonctionnalités recherchées *en adéquation* avec les besoins exprimés et spécifiés dans notre analyse) à l'aide du langage de modélisation semi-formel *UML*(Notamment avec ses diagrammes de composants), et enfin, une conception ergonomique avec la méthode de *conception centrée-utilisateur*[4] (pour garantir l'utilisabilité de *VirtualSolAq3*). Au terme de cette conception sous ces trois axes : nous obtiendrons le *document de conception* de *VirtualSolAq3*.

Après les phases d'analyse et de conception, une phase d'*implémentation* s'impose. C'est ainsi que suivant l'axe pédagogique l'implémentation est réalisée suivant le modèle *ADDIE* ; qui par la suite impulse une implémentation logicielle et ergonomique dans le langage de programmation *Actionscript 3* (*POO* et animations aisées). Ainsi, l'environnement de développement de la suite d'*Adobe Master Collection CS6* est choisi pour son caractère interactif et de facilité d'animations vectorielles (voire simulation). Le résultat de ladite implémentation sera le *code source* de *VirtualSolAq3*.

À ce stade de développement, les *tests* et *validations* de *VirtualSolAq3* sont requis afin de vérifier l'adéquation de la solution proposée vis-à-vis des besoins exprimés par le public cible. Les tests sont

unitaires, puis modulaires, d'intégration et enfin test β . La validation sous l'angle pédagogique est réalisée par les enseignants de la discipline considérée ensuite par les apprenants, tandis que sous l'angle ergonomique, la validation se réalise suivant les recommandations ergonomiques de *Bastien et Scapin (1993)*[1].

Résultats et Discussion

3.1 Analyse pédagogique

L'analyse pédagogique est indispensable[5] dans le développement d'un laboratoire virtuel de qualité. Cette analyse permet de passer en revue les aspects pédagogiques et didactiques. Elle consiste notamment à mettre en exergue les trois (3) points suivants : *Analyse des besoins*, *Analyse de l'existant et des moyens* et la *pertinence du produit*. C'est ainsi que suivant le modèle *ADDIE* nous nous obtenons :

3.1.1 Analyse des besoins

Objectif général

L'objectif principal de ce travail est de permettre à l'apprenant de maîtriser les concepts liés aux solutions aqueuses en classe de 3^{ème} au Cameroun.

Objectifs spécifiques

La *dés-encapsulation* de l'objectif général sus énoncé se décline en des objectifs spécifiques (action à réaliser par l'apprenant). Ainsi, après avoir parcouru profondément notre laboratoire virtuel, l'élève sera capable :

- D'expliquer convenablement les mécanismes liés à l'équilibre d'une équation chimique de mise en solution ;
- De mesurer la concentration molaire d'une solution aqueuse ;
- D'expliquer en 30 mots maximum, avec illustration, la notion de dilution ;
- D'expliquer en 30 mots maximum, avec illustration, la notion de saturation ;
- D'expliquer en 30 mots maximum avec illustration la notion d'invariance, de la concentration ;
- D'expliquer convenablement la notion de pH d'une solution aqueuse ;
- D'utiliser le pH-mètre pour la mesure du pH d'une solution aqueuse ;
- D'utiliser le papier pH pour l'estimation de la valeur du pH d'une solution aqueuse ;

- D'utiliser les indicateurs colorés pour caractériser une solution aqueuse ;
- De caractériser convenablement une solution aqueuse acide ;
- De caractériser convenablement une solution aqueuse neutre ;
- De caractériser convenablement une solution aqueuse basique ;
- D'identifier la formule chimique d'un ion donné ;
- D'écrire convenablement une équation chimique de mise en solution ;
- D'interpréter correctement une activité expérimentale.

Description des contenus pédagogiques

VirtualSolAq3 sera constitué de cinq (5) modules pédagogiques qui favorisent l'autoapprentissage dans un environnement d'apprentissage avancé et spécialisé : Le 1^{er} permettra d'aborder sous un autre angle le mécanisme d'équilibre des équations chimiques de mise en solution avec l'utilisation des balances. Ces balances ne seront à l'équilibre que lorsque les quantités de matière (en conséquence des charges) seront équilibrées dans l'équation considérée.

Le 2^{ème}, quant à lui, se spécialisera dans la mesure de concentration molaire d'une solution donnée à l'aide d'un outil spécifique. Ici quatre (4) concepts sont minutieusement mis en évidence : concentrer la solution, dilution, invariance de la concentration et saturation.

Le 3^{ème} sera totalement dédié à la mesure du pH d'une solution donnée soit avec un pH-mètre, un papier pH ou indicateur coloré ; dans le but de caractériser (acide, basique ou neutre) cette solution. En outre, la loupe et représentation graphique permettront de déterminer les ions prépondérants.

Le 4^{ème} sera consacré aux activités d'intégration qui se déclinent en trois (3) groupes permettant de développer des compétences spécifiques :

- Activité d'identification des ions (cations ou anions) : «*IdentIons*» Ici, l'apprenant devra associer à chaque nom d'ion, la formule chimique correspondante, et ceci de façon dynamique.
- Activité d'écriture correcte d'une équation chimique de mise en solution : «*Équation chimique de mise en solution*» Dans la dynamique d'exécution de cette activité : il s'agira de réaliser convenablement une mise en solution aqueuse.
- Activité de QCM expérimental : «*QCM expérimental*» Cette activité vise la compréhension profonde et l'interprétation des résultats observables à la fin d'une activité expérimentale.

Le 5^{ème} constitue le module d'aide.

Public cible et caractéristiques

Choix du public cible *VirtualSolAq3* est conçu pour les élèves de la classe de 3^{ème} au Cameroun.

Les caractéristiques du public cible Les apprenants devraient avoir un âge compris entre 13 et 16 ans, s'exprimer et lire de façon courante en langue française et être exempt de troubles de l'apprentissage. Ils doivent intrinsèquement avoir de bonnes traces mnésiques de la chimie vue en classe de 4^{ème} du même sous-système.

3.1.2 Analyse des moyens existants

Notre existant se décline en :

Matériels et ressources existants

Ressources humaines Nous avons :

- EMBOLO Sandrine (pour les aspects pédagogiques) ;
- KANYOU Claude (pour le génie logiciel et l'ergonomie) ;
- NGANSOP Adonice (pour le génie logiciel et l'ergonomie) ;
- Les concepteurs pédagogiques (Enseignants de Physique Chimie et Technologie [PCT]) des lycées : Général Leclerc, de la Cité verte et d'Etoug-Ebe en tant qu'expert du domaine et aussi pour l'expression des besoins (pédagogiques et didactiques) ;
- Les élèves des classes de 3^{ème} des lycées général Leclerc, Ekounou, Cité verte et d'Etoug-Ebe : pour l'expression en partie des besoins ;(attentes) ;
- Le Directeur de mémoire : *Dr PRISO NDEDI*.

Contraintes

Elles se déclinent sur trois (3) angles. Nous distinguons :

- **Contraintes temporelles** : le développement pré maintenance de *VirtualSolAq3* s'étant sur 4 (quatre) mois (03 février 2016 au 03 juin 2016) ;
- **Contrainte institutionnelle** : ce projet répond à l'impératif de réaliser un projet de fin de formation pour l'obtention du diplôme de DIPES II à l'École Normale Supérieure de Yaoundé.
- **Contraintes techniques** : elles sont spécifiquement déterminées dans l'analyse logicielle.

3.1.3 Pertinence du produit

Valeur ajoutée

L'*Ingénierie Numérique pour l'Education (INE)* nous conduit à nous investir en profondeur sur les solutions aqueuses en classe de 3^{ème} au Cameroun. Ceci, au moyen d'une large *gamme de manipulations et d'expérimentations dynamiques (exécution) clôturées par des activités d'intégration*.

Intérêts multidimensionnels

Intérêt social *VirtualSolAq3* est un laboratoire virtuel spécialisé en solutions aqueuses en classe de 3^{ème}. C'est un outil qui outille les apprenants et enseignants en leur offrant de *nouvelles perspectives d'enseignement/apprentissage* des mécanismes et concepts issus des solutions aqueuses en classe de 3^{ème} au Cameroun.

Intérêt professionnel *VirtualSolAq3* permet de *palier au manque ou de laboratoire défectueux* ; tout en facilitant la tâche des enseignants et des apprenants de la discipline considérée.

Intérêt scientifique Issu d'un travail scientifique rigoureux, *VirtualSolAq3* met en exergue le fait que les T.I.Cs ne sont pas réservés, mais sont plutôt *ouverts au monde* (autres discipline d'enseignement).

Intérêt économique Le coût de mise en œuvre de *VirtualSolAq3* n'est rien comparé à celui de mise en œuvre d'un laboratoire physique portant sur les solutions aqueuses.

Intérêt psychologique Dans *VirtualSolAq3*, nous avons la quasi-élimination des risques liés aux manipulations dangereuses comme le cas de l'acide chlorhydrique (HCl).

3.2 Analyse logicielle : ingénierie des besoins

3.2.1 L'analyse fonctionnelle (A.F)

Suivant le modèle *APTE*, nous obtenons :

Besoins exprimés

Le tableau ci-dessous récapitule les besoins recueillis à l'issue de la phase de *pré-analyse* (entretiens et interviews des futurs utilisateurs) de *VirtualSolAq3* :

Besoin exprimé (quel est le problème à résoudre ?)	Fonctionnalités (quelles sont les fonctions à assurer ?)	Contraintes (quel est le besoin non fonctionnel à respecter)
Maîtriser l'art ou la méthode pour équilibrer une équation chimique de mise en solution	<ul style="list-style-type: none"> • Outil d'aide : système de balance (système d'équilibre et de déséquilibre) • Augmenter ou diminuer un coefficient stœchiométrique de chaque produit (ion cation ou anion). 	Dynamisme dans la sélection de l'équation de mise en solution

Identifier (formule chimique et nom) un ion dans un ensemble ions (anion et cation) essentiels et utilise pour un élève de la classe de 3 ^{ème}	Associer convenablement la formule chimique d'un ion à son nom.	La sélection de l'ion à identifier doit être dynamique dans l'ensemble des ions proposés.
Écrire correctement l'équation chimique de mise en solution d'un composé chimique (réactif ou molécule chimique) donné	<ul style="list-style-type: none"> • Associer convenablement le nom d'une molécule chimique (réactif) à sa formule chimique • Choisir les bons produits (ion cation, ou anion) engendrés par le réactif mis en solution aqueuse • Choisir les bons coefficients stochiométriques. 	<ul style="list-style-type: none"> • Sélection dynamique pour le réactif, et des produits (ions). • Illustrer convenablement par une image le réactif considéré.
Reconnaître le ou les implication(s) ou impact(s) engendré à l'issue d'une activité expérimentale	<ul style="list-style-type: none"> • Illustrer une activité expérimentale (caractérisation et déroulement visuel) • Poser une question en rapport avec les éventuelles conséquences engendrées par cette expérimentation) 	<i>Commenter les corrections</i>
Déterminer la nature d'une solution à l'aide du papier pH	Mettre en évidence le changement de couleur du papier pH	Variation de couleur doit être identifiable sur le papier pH.
Caractériser une solution par la valeur donnée par le pH-mètre	Mesurer le pH à l'aide du pH-mètre	La valeur fournie doit être comprise entre 0 et 14.

Visualiser l'effet des indicateurs colorés sur une solution aqueuse	Mettre en évidence le changement de couleur de la solution aqueuse en présence des indicateurs colorés (Hélianthine, Phénolphthaléine, Bleu de bromothymol).	Changement de couleur de l'indicateur coloré en solution.
Visualiser l'impact de la dilution sur la valeur de la concentration d'une solution aqueuse	Mettre en évidence à l'échelle microscopique la diminution de la concentration d'une solution aqueuse due à l'effet de la dilution par l'eau.	La dilution s'effectue avec l'eau comme solvant.
Comprendre l'effet de saturation	Mettre en évidence l'augmentation de la concentration d'une solution jusqu'à saturation	La coloration de la solution reste stable ou trouble.
Consulter l'aide	Présenter l'aide de <i>VirtualSolAq3</i> au besoin de l'utilisateur	Ouvrir <i>VirtualSolAq3</i>
Faire une notification aux éditeurs de <i>VirtualSolAq3</i>	Prévoir un lien hypertexte vers une adresse mail valide des développeurs de <i>VirtualSolAq 1.1</i>	Être connecté à internet et disposer d'un navigateur internet.

Table 3.1: Énoncé des besoins

Analyse Fonctionnelle du Besoin (A.F.B.)

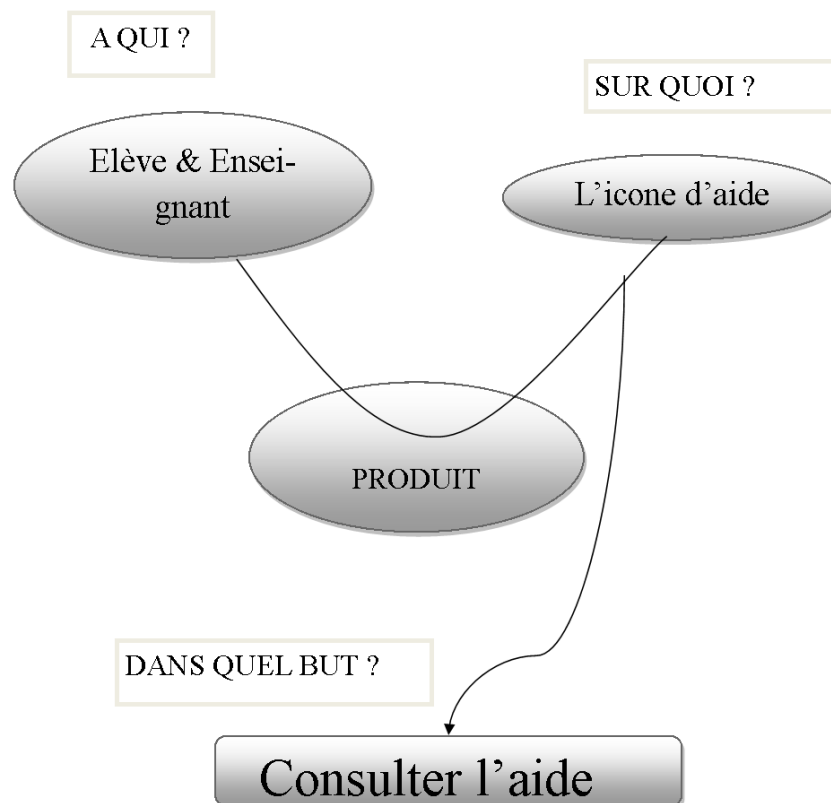
Selon l'approche APTE, nous avons la *verbalisation des besoins* suivante :

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de consulter l'aide de l'application. »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève et à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur l'icône d'aide
« Dans quel but ? »	Consulter l'aide

Le schéma du besoin



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève / à l'enseignant en agissant sur l'icône d'aide pour lui permettre d'accéder à l'aide de l'application »

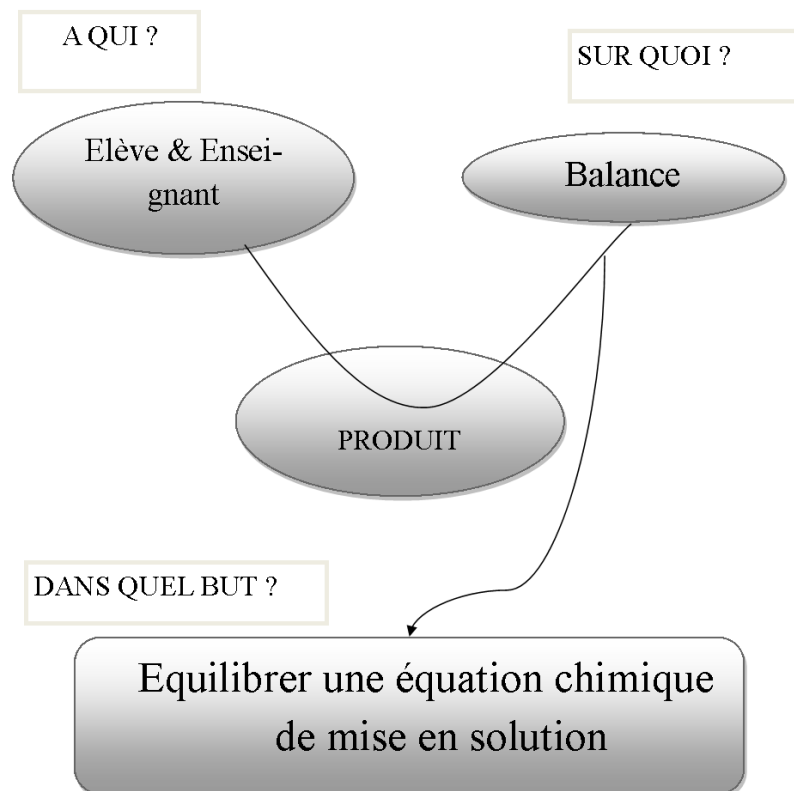
Figure 3.1: Verbalisation du besoin d'aide dans *VirtualSolAq3*

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de maîtriser l'équilibre des équations de mise en solution »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève et à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur les balances
« Dans quel but ? »	Equilibrer les équations chimiques de mise en solution

Le schéma du besoin



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève/ à enseignant en agissant sur les balance pour permettre à l'apprenant de d'équilibrer les équations de mise en solution »

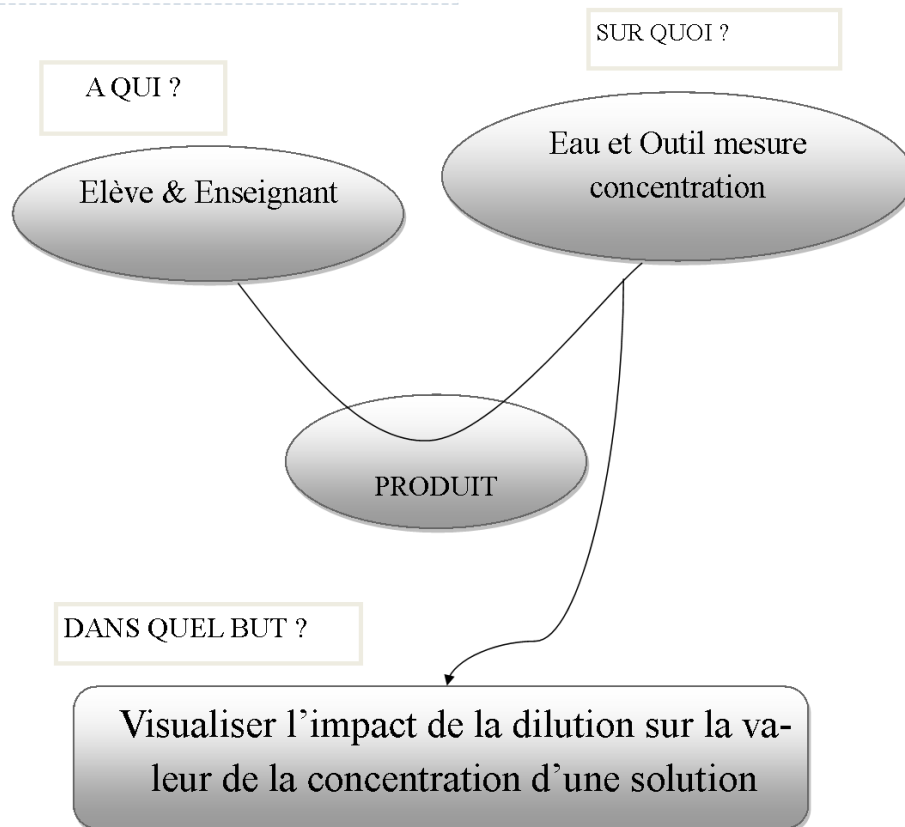
Figure 3.2: Verbalisation du besoin de maîtriser le mécanisme d'équilibre d'une équation chimique de mise en solution

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de visualiser l'effet de la dilution sur la concentration d'une solution »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève / l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur l'outil de mesure de la concentration
« Dans quel but ? »	Mettre en évidence le phénomène de dilution.

Le schéma du besoin



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève / à l'enseignant en lui permettant de visualiser l'impact de la dilution sur la concentration d'une solution aqueuse à l'aide d'un solvant (ici l'eau) et d'un outil de mesure des concentrations. »

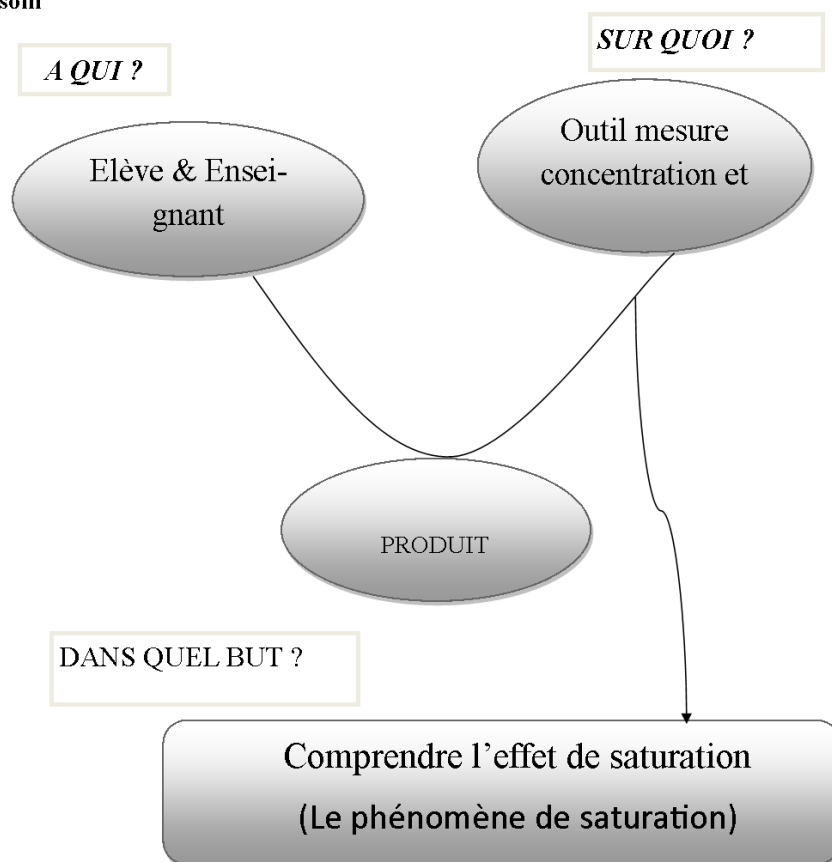
Figure 3.3: Verbalisation du besoin de visualiser l'effet de la dilution sur la concentration d'une solution

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de comprendre le phénomène de saturation d'une solution aqueuse. »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève et à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur du papier pH
« Dans quel but ? »	Comprendre le phénomène de la saturation.

**Le schéma
du besoin**



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève / à l'enseignant en lui permettant de comprendre le phénomène de la saturation à l'aide de l'outil de mesure des concentrations. »

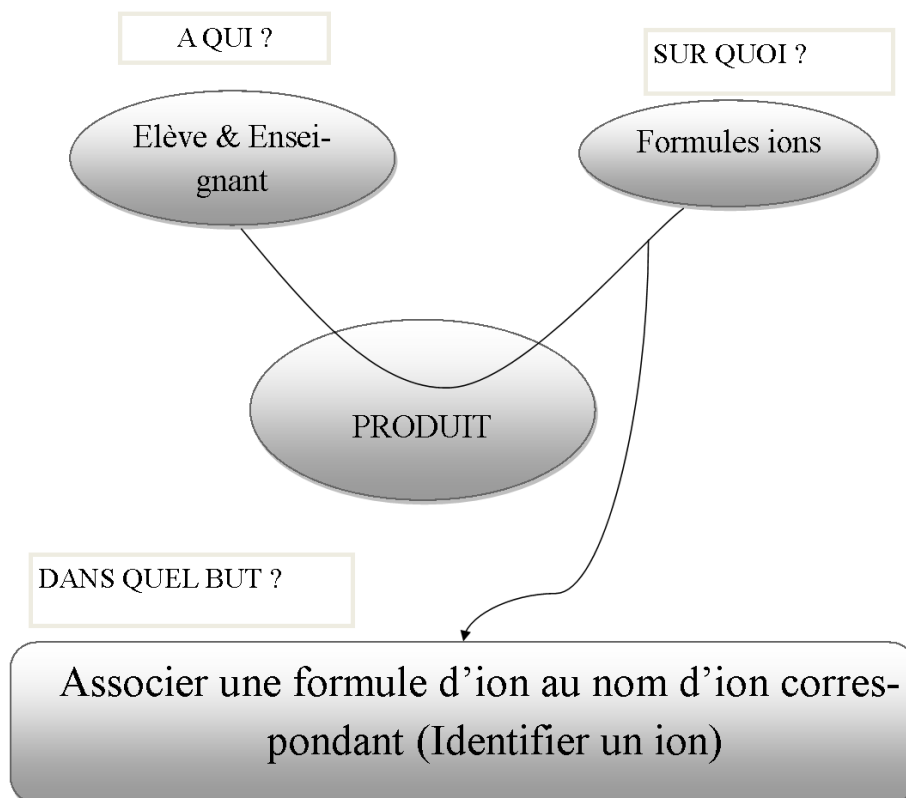
Figure 3.4: Verbalisation du besoin de comprendre le phénomène de la saturation d'une solution aqueuse

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève d'associer une formule d'ion au nom correspon.

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève et à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur les formules d'ions
« Dans quel but ? »	Identifier un ion

Le schéma du besoin



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève/ à enseignant en agissant sur les formules d'ions pour lui permettre d'associer un nom d'ion à sa formule correspondante »

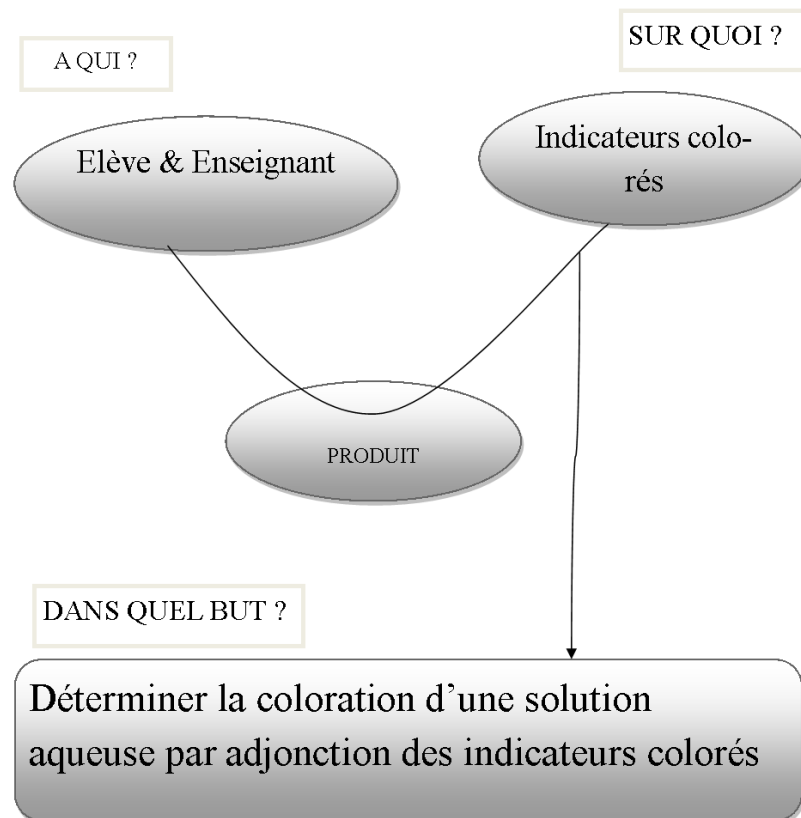
Figure 3.5: Verbalisation du besoin d'identifier la formule chimique d'un nom d'ion

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de déterminer la nature d'une solution aqueuse à l'aide des indicateurs colorés »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève / à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur les indicateurs colorés
« Dans quel but ? »	Caractériser une solution

Le schéma du besoin



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève / à l'enseignant en lui permettant de déterminer la coloration d'une solution aqueuse par adjonction des indicateurs colorés.»

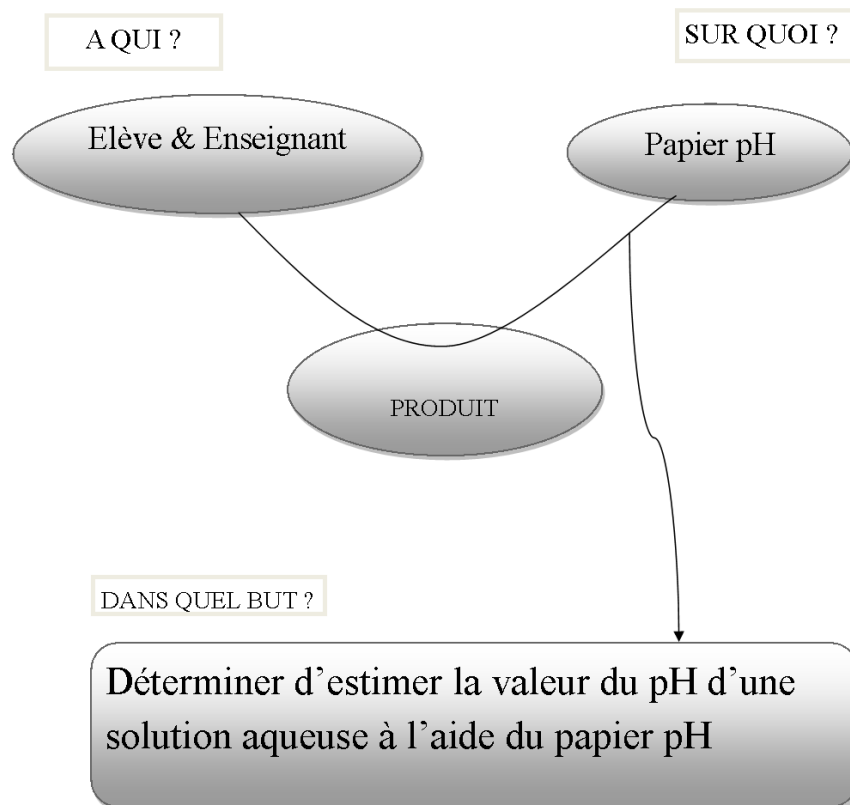
Figure 3.6: Verbalisation du besoin de caractériser une solution aqueuse à l'aide d'un indicateur coloré

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de caractériser une solution (acide, basique ou neutre) à l'aide du papier pH »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève et à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur du papier pH
« Dans quel but ? »	Caractériser une solution

Le schéma du besoin



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève et à l'enseignant en lui permettant de déterminer la nature d'une solution à l'aide du papier pH. »

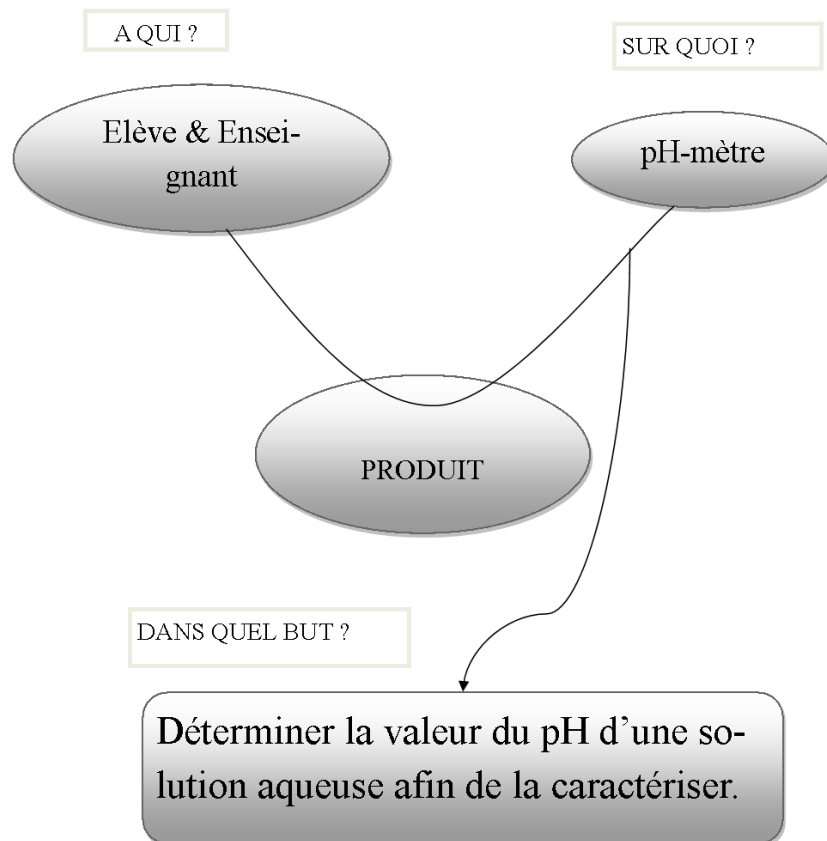
Figure 3.7: Verbalisation du besoin de caractériser une solution à l'aide du papier pH

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de déterminer la valeur du pH d'une solution à l'aide du pH-mètre »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève et à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur du pH-mètre
« Dans quel but ? »	Caractériser une solution

Le schéma du besoin



Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève en lui permettant de déterminer la nature d'une solution à l'aide du pH-mètre. »

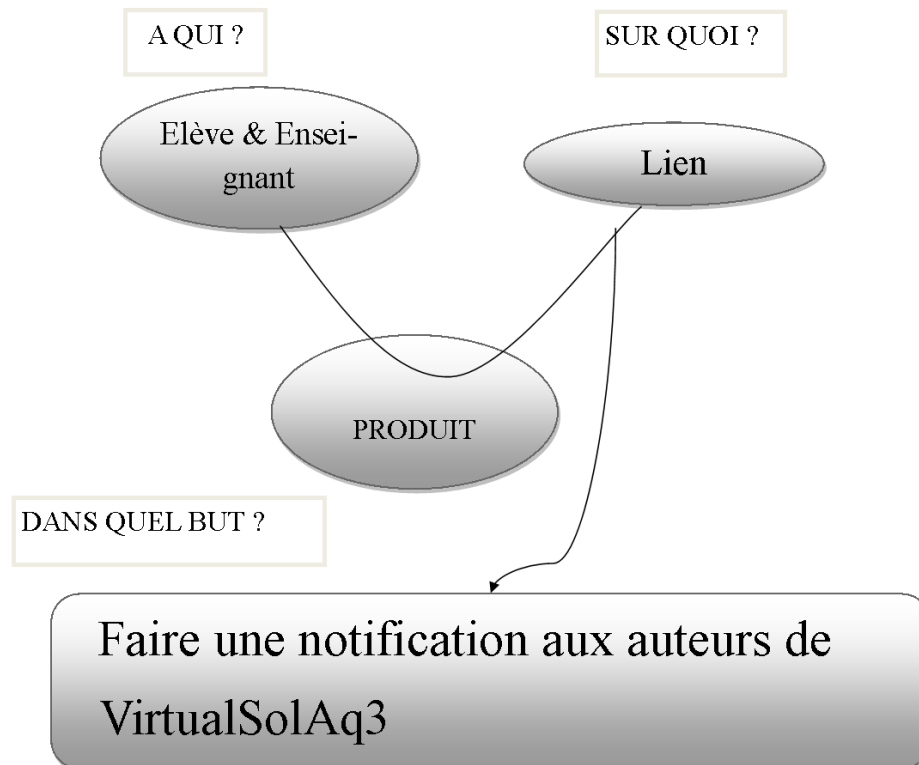
Figure 3.8: Verbalisation du besoin de déterminer la valeur du pH d'une solution à l'aide du pH-mètre

Besoin exprimé « On souhaite permettre à l'élève de faire une notification aux auteurs de VirtualSolAq3. »

Les trois questions

Questions	Réponse
« A qui le produit rend-t-il service ? »	A l'élève et à l'enseignant
« Sur quoi le produit agit-il ? »	Sur un lien
« Dans quel but ? »	Faire une notification aux auteurs

Le schéma du besoin

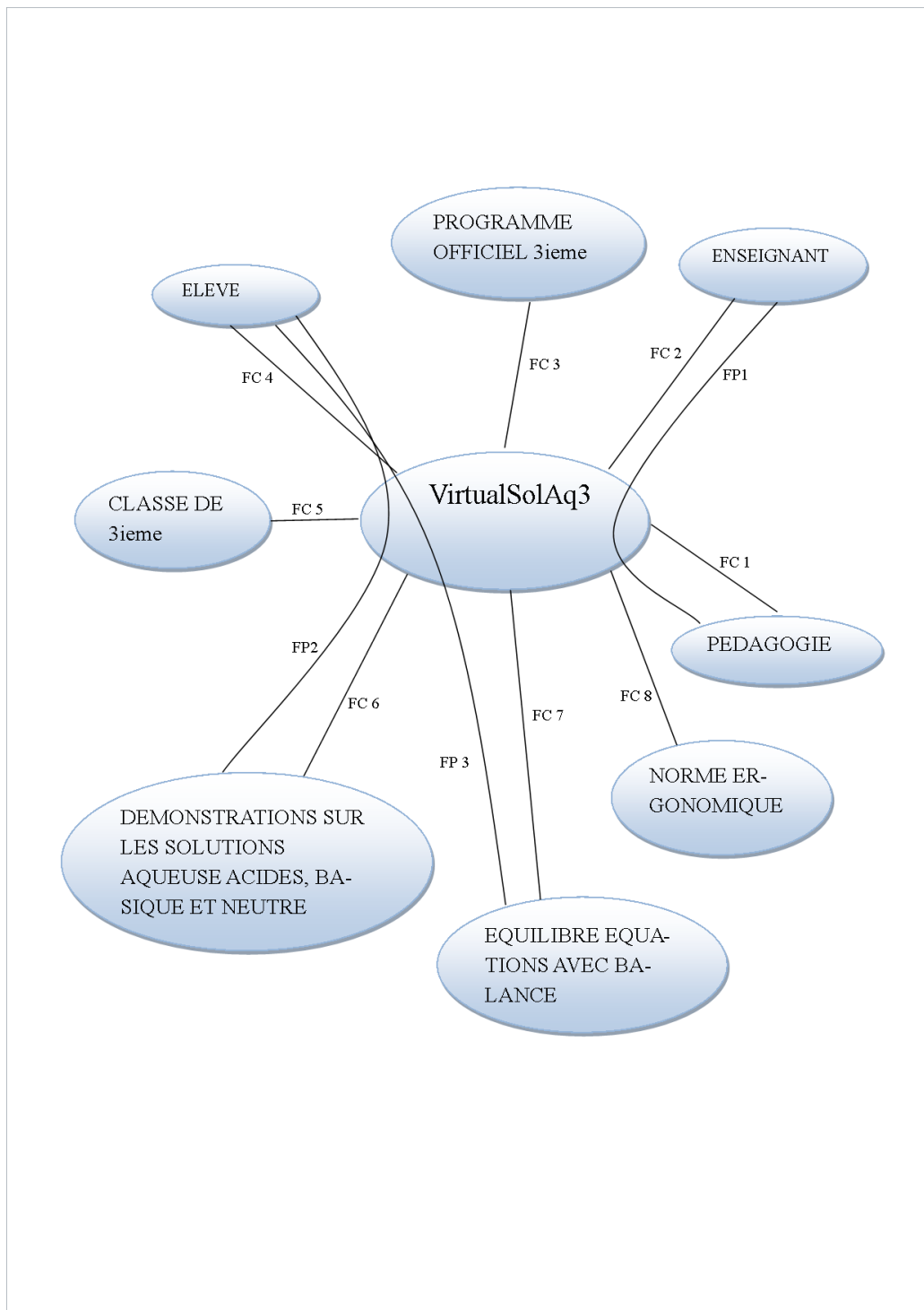


Le besoin énoncé : « Le produit rend service à l'élève/ à enseignant qui agit sur un lien dans le but de faire une notification aux auteurs de VirtualSolAq3 »

Figure 3.9: Verbalisation du besoin d'envoyer une notification aux éditeurs de *VirtualSolAq3*

Analyse Fonctionnelle Technique (A.F.T.)

Cette partie clôturera l'étape d'analyse fonctionnelle par la détermination des fonctions techniques nécessaires aux fonctions de service. Celles-ci constituent les *guides* dans la phase de conception pour la recherche des solutions technologiques. Ainsi, nous obtenons le *diagramme de Pieuvre* suivant :

Figure 3.10: Diagramme de Pieuvre de *VirtualSolAq3*

Description des fonctions principales et de services

1. Fonctions principales :

- *FP1* : *VirtualSolAq3* permettra à l'enseignant d'appliquer une approche pédagogique basée sur les expériences/démonstrations ;

- *FP2* : *VirtualSolAq3* mettra à la disposition des apprenants des expériences leur permettant de déterminer la nature d'une solution ;

2. *Fonction de services* :

- *FC1* : *VirtualSolAq3* utilisera une approche pédagogique ;
- *FC2* : *VirtualSolAq3* sera utilisé par l'enseignant ;
- *FC3* : *VirtualSolAq3* a été conçu en se basant sur des livres officiels au programme de la classe de 3^{ème} au Cameroun ;
- *FC4* : *VirtualSolAq3* sera utilisé par les apprenants ;
- *FC5* : *VirtualSolAq3* sera destiné aux élèves de la classe de 3^{ème} de l'enseignement secondaire général au Cameroun ;
- *FC6* : *VirtualSolAq3* caractérise une solution aqueuse à l'aide d'un système de loupe qui permet de visualiser les ions majoritaires ;
- *FC7* : *VirtualSolAq3* équilibre les équations de mise en solution avec le système de balance (En se basant sur le système de balances) ;
- *FC8* : *VirtualSolAq3* respectera les critères/normes ergonomiques de *Bastian et Scalpin*.

3.2.2 Acteur du système

L'acteur essentiel du système est un apprenant ou élève de la classe de 3^{ème}.

3.3 Analyse ergonomique

L'*ergonomie* se définit comme l'étude des conditions de travail et des relations entre l'Homme et la machine. L'analyse ergonomique est une étape importante dans tout processus de développement logiciel. Dans cette section, nous procédons à ladite analyse suivant le formalisme *MAD*, en ressortant la *description des utilisateurs* et l'*analyse de la tâche des utilisateurs*.

3.3.1 Description des utilisateurs

Un potentiel utilisateur de *VirtualSolAq3* devra disposer pleinement des éléments suivants :

- *Main* : elle est indispensable car l'apprenant devra tenir la souris de son ordinateur afin de déplacer les objets sur la scène. Ainsi donc, c'est la main qui permettra à l'apprenant d'interagir avec *VirtualSolAq3* ;
- *Yeux* (bonne acuité visuelle) : ils sont indispensables car ils permettront à l'apprenant de visualiser les effets tels que : la valeur du pH d'une solution, le phénomène de dilution, de saturation, l'action des indicateurs colorés sur une solution aqueuse donnée.

3.3.2 Analyse de la tâche

Selon le formalisme *MAD*[14], les modèles de tâches seront représentés comme suit :

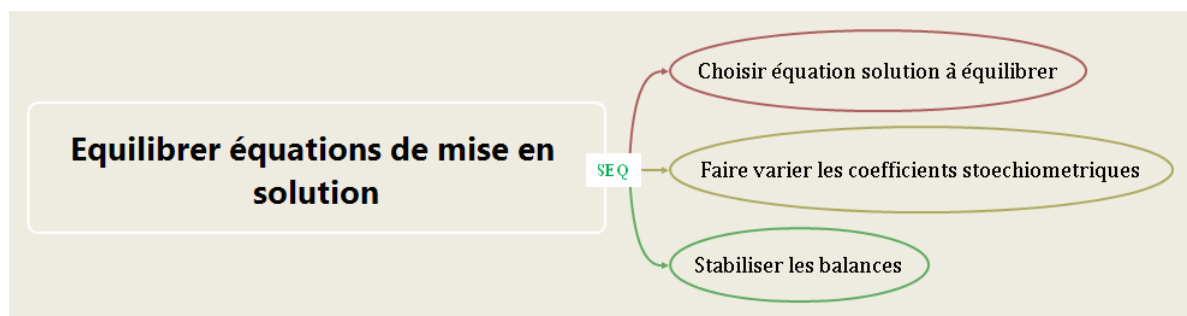


Figure 3.11: Modèle de tâche pour l'activité équilibrée une équation chimique de mise en solution

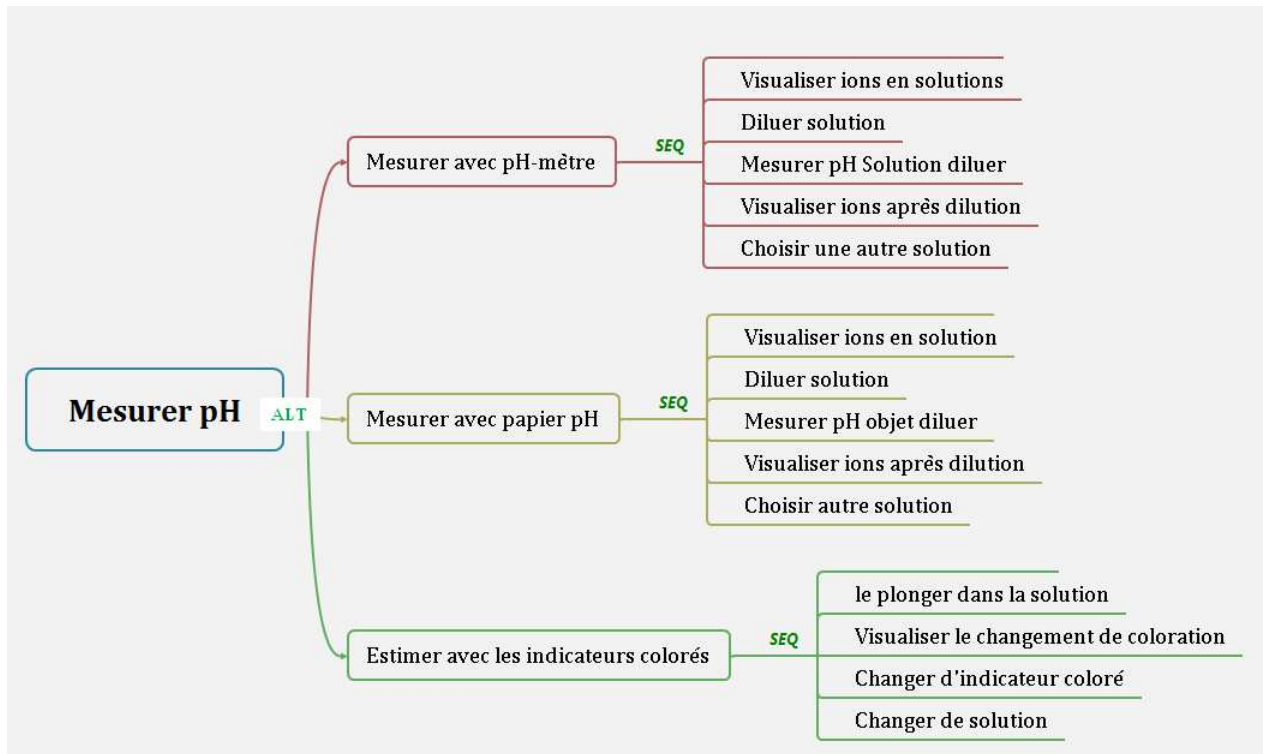


Figure 3.12: Modèle de tâche pour l'activité mesurée pH d'une solution aqueuse

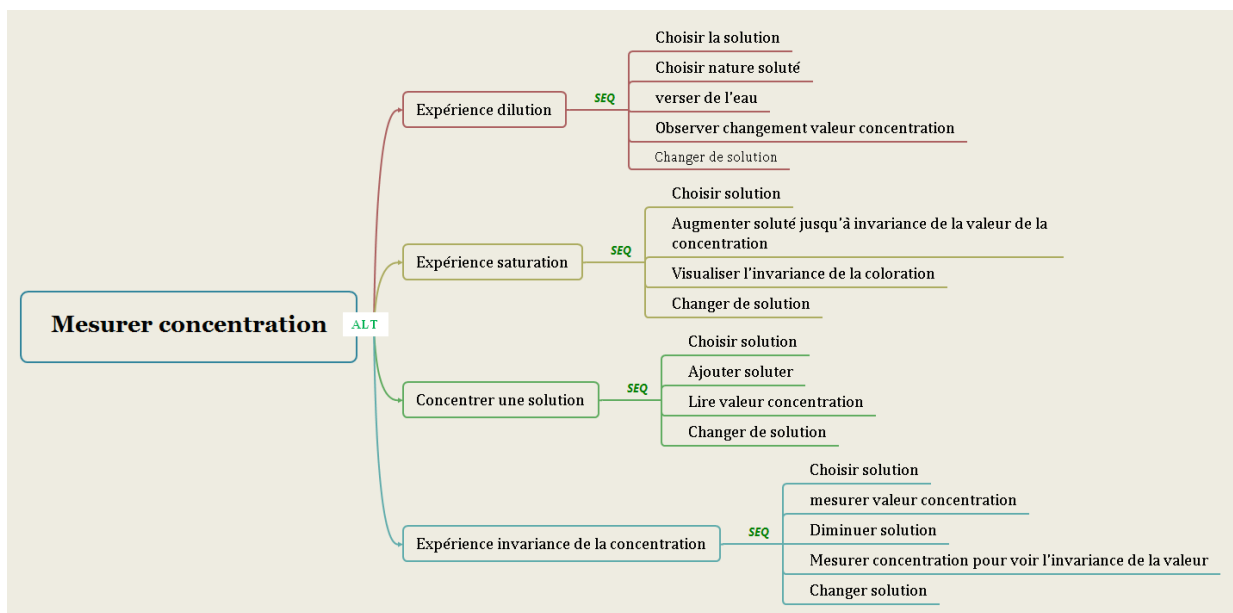


Figure 3.13: Modèle de tâche pour l'activité mesure concentration

Après la phase d'analyse où il est question de définir le «**quoi ?**» et de spécifier les besoins, à présent nous montrons comment nous avons procédé pour satisfaire ces besoins exprimés par notre public cible. Nous poursuivons avec la phase de la *conception* pour proposer un *modèle fiable* afin de quitter du «*quoi ?*» au «*comment ?*» («*qui ?*» fera «*quoi ?*», «*quand ?*» et «*où ?*») tout en justifiant le pourquoi, du «*comment ?*» facilitera la compréhension du public cible.

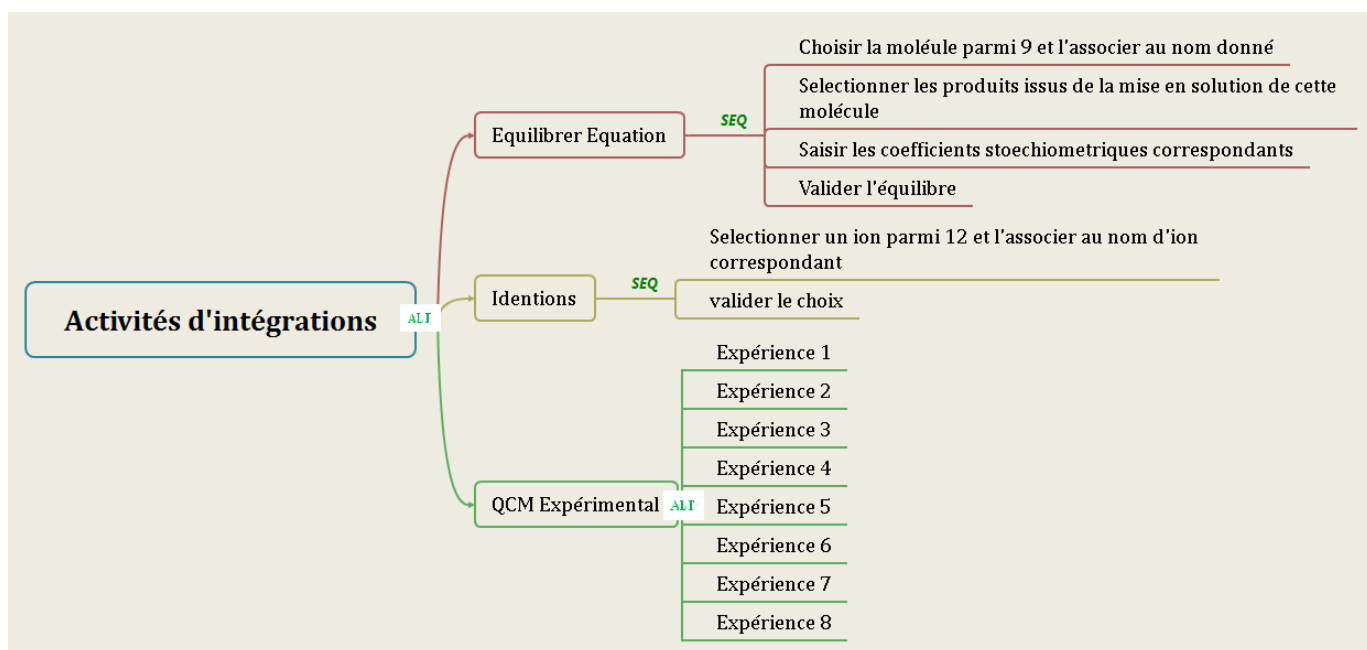


Figure 3.14: Modèle de tâche pour l'activité d'intégration

3.4 Conception Pédagogique

Suivant le modèle *ADDIE* elle se décline en :

3.4.1 Cadrage des objectifs spécifiques

Module pédagogique 1 : Équilibre des équations chimiques de mise en solution aqueuse **Compétence** : *équilibrer convenablement une équation chimique de mise en solution aqueuse.*

1. *Savoirs* :

- Les solides ioniques dissouts dans l'eau libèrent des ions ;
- La solution obtenue en dissolvant un solide ionique, contient autant de charges positives que de charges négatives : elle est donc électriquement neutre ;
- L'équilibre des charges ne conduit pas forcément à l'équilibre des quantités de matière ;
- Le coefficient stœchiométrique doit être le plus petit possible ;
- Les ions de charge positive (+) sont appelés cations, et ceux de charge négative (—) sont appelés anions.

2. *Savoir-faire* :

- Attribuer à un ion le bon coefficient stœchiométrique pour garantir l'équilibre des quantités de matière et en conséquence l'établissement de l'électro neutralité de la solution.

3. *Savoir-être* :

- *L'attention* : l'apprenant doit observer attentivement les changements qui s'opèrent sur les balances qui lui sont présentées ;
- *L'organisation* : il doit pouvoir organiser ses idées.

Module pédagogique 2 : Mesure de la concentration molaire **Compétence** : *Mettre en évidence les concepts liés au phénomène de concentration molaire*

1. *Savoirs* :

- La valeur de la concentration de la solution augmente lorsque le soluté augmente ;
- La valeur de la concentration de la solution diminue lorsque le solvant augmente ;
- La valeur de la concentration de la solution ne varie pas si le volume de la solution diminue ;
- Une solution est saturée quand le solvant ne peut plus dissoudre le soluté.

2. *Savoir-faire* : réaliser une solution aqueuse, diluer une solution aqueuse, concentrer davantage une solution aqueuse, saturer une solution aqueuse.

3. *Savoir-être* : curiosité (savoir l'impact de l'ajout du solvant(eau) ou d'un soluté dans une solution), concentration (observer attentivement et interpréter).

Module pédagogique 3 : Mesure du pH *Compétence : Caractériser une solution aqueuse, en se servant des outils de mesure du pH d'une solution aqueuse.*

1. *Savoirs :*

- Le pH d'une solution se mesure à l'aide du pH-mètre;
- Les solutions acides ont un pH inférieur à 7 ($pH < 7$) et plus d'ion H_3O^+ ;
- Les solutions basiques ont un pH supérieur à 7 ($pH > 7$) et plus d'ion OH^- ;
- Les solutions neutres ont un pH égal à 7 ($pH = 7$) et autant d'ions H_3O^+ que d'ions OH^- .
- Le bleu de *bromothymol*, l'*hélianthine* et la *phénolphthaléine* sont des indicateurs colorés ;
- Les indicateurs colorés prennent une coloration différente en fonction des ions prépondérants dans la solution.

2. *Savoir-faire :*

- Mesurer la valeur du pH d'une solution à l'aide d'un pH-mètre ;
- Estimer la valeur du pH d'une solution à l'aide d'un papier pH ;
- Utiliser un indicateur coloré pour caractériser une solution aqueuse ;
- Interpréter les résultats obtenus après utilisation d'un pH-mètre, papier pH ou indicateur coloré.

3. *Savoir-être :* la *cohérence* dans le raisonnement, l'*attention* (pour ce qui est des indicateurs colorés ou du papier pH), la *précision*.

Module pédagogique 4 : activités expérimentales d'intégration

* **Activité 1 : identification des ions**

Compétence : *associer à un nom d'ion donné, la formule chimique correspondante*

1. *Savoir :* À chaque nom d'ion est associée une et une seule formule chimique qui la caractérise.
2. *Savoir-faire :* Faire correspondre un nom d'ion à sa formule chimique.
3. *Savoir-être :* *Concentration* (se rappeler de ses *traces mnésiques*).

* **Activité 2 : Écriture correcte des équations chimiques de mise en solution**

Compétence : *écrire correctement une équation chimique de mise en solution*

1. *Savoir :*

- À chaque réactif d'une équation chimique de mise en solution, est associée une formule chimique qui la caractérise.
- Certains réactifs sont présents dans le vécu quotidien de l'apprenant.

2. *Savoir-faire :*

- Identifier la formule chimique correspondant à un nom de molécule ;

- Identifier les produits issus de la mise en solution d'un réactif considéré ;
- Attribuer le bon coefficient stœchiométrique à chaque produit (ion) issu de la mise en solution aqueuse.

3. *Savoir-être* : Concentration et attention.

* **Activité 3 : QCM expérimental**

Compétence : *utiliser convenablement les acquis des précédents modules pédagogiques.*

1. *Savoir* : Ceux acquis dans les modules pédagogiques «*Mesure pH* » et «*Mesure concentration molaire*» ;
2. *Savoir-faire* : Interpréter correctement les résultats des expériences proposées ;
3. *Savoir-être* : Concentration (se rappeler de ses *traces mnésiques*), Discernement, Attention, et *Esprit critique*.

Scénarisation pédagogique

Lorsque l'apprenant lance l'application, il a face à lui un *frame de chargement* qui le prépare à la découverte de l'application. Une fois sur la page présentant le menu principal, l'utilisateur choisit le module dans lequel il veut travailler. Nous avons donc cette scénarisation par module pédagogique :

Module pédagogique 1 : Equilibre d'équation chimique de mise en solution Ici, il sélectionne une solution et fait varier les coefficients jusqu'à équilibre des trois balances qui induisent l'équilibre de l'équation chimique considérée. Après équilibre, il peut en choisir une autre. Le bouton «Précédent» lui permet de revenir sur le menu principal et de choisir un autre module pédagogique.

Module pédagogique 2 : Mesure de la concentration molaire Ici il a la possibilité de réaliser quatre expériences. Dans chacune d'elle, l'apprenant fait le choix de la solution, il peut mesurer la concentration molaire de ladite solution.

- *Expérience n°1 de la concentration* :

Il peut ajouter une quantité fixe (0.5l) de soluté et mesurer à nouveau la valeur de la nouvelle concentration molaire (*augmentation*). Ce dernier pourra exécuter ce scénario sur toutes les solutions qui lui sont proposées. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des expériences du module pédagogique.

- *Expérience n°2 de la dilution* :

Il peut mesurer la concentration de ladite solution, puis ajouter d'avantage le solvant et mesurer à nouveau la valeur de la nouvelle concentration molaire (*diminution*). Ce dernier pourra exécuter ce scénario sur toutes les solutions qui lui sont proposées. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des expériences du module pédagogique.

- *Expérience n°3 : d'invariance de la valeur de la concentration molaire* :

Il peut mesurer la concentration de ladite solution, puis il peut *diminuer* le volume total de la solution et mesurer à nouveau la valeur de la nouvelle concentration molaire (*constante*). Ce dernier pourra exécuter ce scénario sur toutes les solutions qui lui sont proposées. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des expériences du module pédagogique.

- *Expérience n°4 Saturation* :

Il peut mesurer la concentration de ladite solution, puis il peut ajouter d'avantage le soluté jusqu'à saturation (trouble et/ou couleur stable de la solution) et mesurer à nouveau la valeur de la nouvelle concentration molaire (*seuil de la concentration*). Ce dernier pourra exécuter ce scénario sur toutes les solutions qui lui sont proposées. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des expériences du module pédagogique.

Module pédagogique 3 : Mesure de pH Ici, une page lui présente le menu au choix, des trois expériences de mesure du pH d'une solution à l'aide d'un outil. Dans chacune de ces expérimentations, il a la possibilité d'utiliser des outils d'aide à la compréhension (*loupe, représentation graphique des ions en solution*). Dans le cas de l'outil *pH-mètre* : une fois la solution choisie, l'apprenant est convié à plonger le pH-mètre dans la solution, ensuite il lira la valeur qu'affiche celui-ci. Il peut itérer ce procédé. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des expériences du module.

Avec l'outil *papier pH* : le procédé est le même que précédemment, excepté le fait qu'il doit comparer la couleur du papier pH à celles du *papier témoin*.

L'outil *indicateur coloré* (au nombre de 3) n'est disponible que pour 3 solutions (chlorure d'hydrogène, eau distillée et hydroxyde de sodium). Une fois la solution choisie, l'apprenant est convié à sélectionner un indicateur coloré et à visualiser son action dans la coloration de la solution considérée. La nouvelle coloration de la solution caractérise sa nature (acide, basique ou neutre). Il peut itérer ce procédé (changement d'indicateur) sur ces solutions. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des expériences du module.

Module pédagogique 4 : Activités d'intégration Ici l'apprenant a face à lui l'ensemble des activités qu'il peut réaliser.

- *«IdentIon»* : ici, il est question de faire correspondre à un nom d'ion donné, sa formule chimique. Il s'en suit une *correction*. Il peut poursuivre avec une nouvelle identification en cliquant sur le bouton «Suivant». Ainsi de suite, il pourra terminer cette activité en cliquant sur le bouton «Terminer» ; puis ses performances sont sanctionnées par une note de fin de parcours. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des activités du module pédagogique correspondant.
- *Écriture correcte des équations chimiques de mise en solution* : Dans un dynamisme d'exécution avec l'illustration du réactif, l'apprenant est convié à positionner la bonne formule chimique de la molécule correspondant au nom du réactif qui sera mise en solution, de même il positionne convenablement chaque produit avec le bon coefficient stœchiométrique. Puis, il peut valider en cliquant sur le bouton «Valider». Sa note est progressivement incrémentée. Il peut passer à la prochaine mise en solution («Suivant»). S'il ne trouve pas, le bouton («Réessayer») est aussi disponible. En appuyant sur le bouton «Précédent», il revient au menu des activités du module.

- *QCM expérimentaux* : ici, nous offrons à l'apprenant une gamme (8) multivariée d' *expériences à interpréter*. Quelle que soit l'expérience choisie, l'apprenant est redirigé vers une interface lui présentant les QCM correspondants à l'expérience choisie. Après validation s'en suit une *correction commentée*. En cas de mauvaise réponse, le bouton «Réessayer» est disponible pour deux autres tentatives.

Les outils et supports des activités

Pour atteindre les objectifs sus mentionnés, nous avons utilisé plusieurs outils :

Les balances à plateaux : Nous les utilisons parce qu'elles sont présentes dans l'environnement immédiat de l'apprenant. L'apprenant, en observant attentivement le comportement des balances suite à la variation du coefficient stœchiométrique, comprend aisément l'attitude à adopter pour que les plateaux de chaque balance restent à l'*horizontal* (état d'équilibre) ce qui entraîne l'équilibre de l'équation considérée.

Les loupes : la loupe est choisie pour permettre à l'apprenant d'observer à l'échelle microscopique les ions présents dans une solution donnée pour d'éventuelles interprétations.

Les récipients : contenant des solutions disponibles.

Le pH-mètre : c'est un appareil qui permet de mesurer avec précision la valeur du pH d'une solution.

Le papier pH : c'est un outil de mesure approximative de la valeur du pH d'une solution.

Les indicateurs colorés : ce sont des substances qui ont la propriété de changer de couleur en fonction de l'acidité, la basicité ou la neutralité du milieu environnant.

Synthèse mappée de la conception pédagogique

Ladite synthèse est sanctionnée par le *mapping* de la figure suivante :

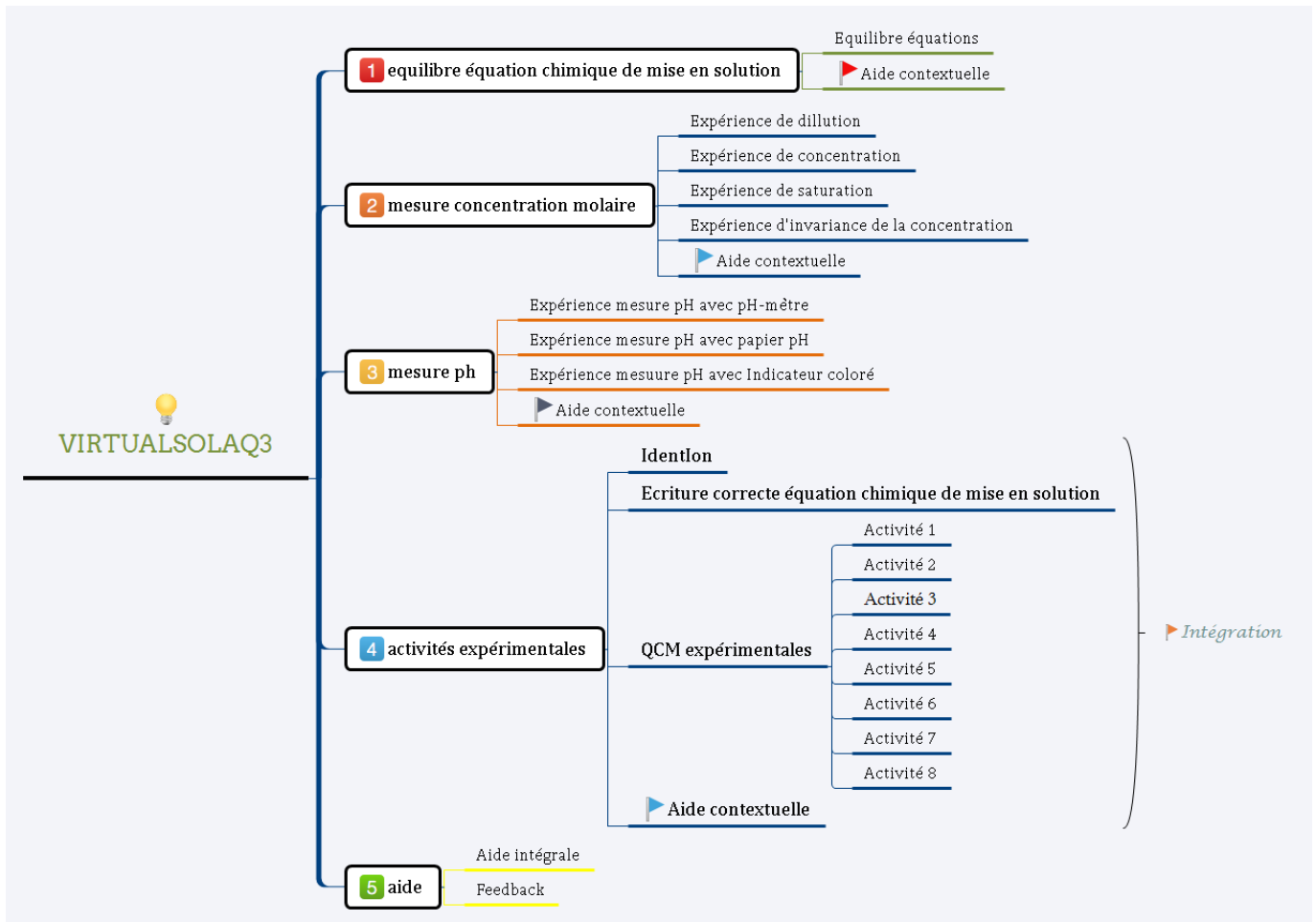


Figure 3.15: Modèle architectural des modules pédagogiques de *VirtualSolAq3*

3.5 Conception logicielle

Avec le *diagramme de composant* du langage de modélisation *UML*, nous déclinons notre conception logicielle *essentiellement* en les points suivants :

- *Synthèse des spécifications* : pour avoir une *vue fonctionnelle* claire et précise des spécifications de notre système ;
- *Conception générale* : pour déterminer la structure du système ;
- *Conception détaillée* : pour déterminer dans un niveau d'abstraction adéquat, les détails de conception (structures de données, mécanisme de gestion des erreurs et quelques choix techniques) du système (*VirtualSolAq3*).

3.5.1 Synthèse des spécifications

1. *Entrée* :

- Action (clic gauche de la souris) ;

- Clic glissé et déposé (Drag and Drop) ;

2. *Traitements informatiques multimédias appliqués dans le système :*

- Générer une Présentation graphique (textuelle, iconographique, interface) ;
- Émission bip (ou beep) témoin, ambiant ou seul ;
- Clic glissé et déposé (Drag and Drop) ;
- Simulation graphique ;
- Correction automatique ;

3. *Sortie :*

- Présentation graphique (textuelle, iconographique, interface) ;
- Interpolation de mouvement ;
- Déroulement simulation graphique;
- Beep ou bip (témoin, ambiant ou seul).

3.5.2 Conception architecturale

À un *niveau d'abstraction adéquat*, notre processus de conception logiciel est sanctionné par l'*architecture globale logicielle* (structure générale du système)¹

Architecture générale du système *L'architecture d'un logiciel définit le logiciel en terme de composantes et d'interactions entre composantes (Shaw et Garlan, 96).*

Décomposition du système en sous-systèmes *Suivant le principe d'abstraction et de modularité, nous hiérarchisons VirtualSolAq3 en sous-systèmes :*

Sous-système	Fonctionnalités à assurer	Principe de fonctionnement
<i>Manipulation</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Augmenter ou diminuer un coefficient stœchiométrique, • Choisir un composant graphique (icône de laboratoire, élément graphique), • Manipuler un composant graphique (icône de laboratoire, élément graphique) • Illustrer 	Interaction avec l'utilisateur (mobilisation des habiletés psychomotrices et d'attention)

¹Peut être imaginée comme la cartographie entre ce qu'un élément du logiciel doit accomplir et les détails de l'implémentation sous forme de code.

<i>Simulation et expérimentation</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Clic glissé et déposé (Drag and Drop), • Interpolation de mouvement, • Simulation graphique à échelle <i>microscopique</i> 	Dynamique des exécutions et interprétation des actions puis, réaction par clic glissé et déposé, ou interpolation de mouvement ²
<i>Moteur d'inférence correction automatique</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Inférer, • Corriger. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Inférer à partir des propositions de l'utilisateur, 2. Puis corriger (éventuellement avec justification) ces propositions.
<i>Dynamique état d'exécution</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Rendre chaque exécution dynamique, • Interpréter les actions de l'utilisateur, • Réaction spécifique. 	<ol style="list-style-type: none"> 1. Interpréter les actions de l'utilisateur, 2. Puis, rendre l'exécution dynamique, 3. Enfin, réagir spécifiquement.
<i>Communication</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Présenter des composants spécifiques d'entrée ou d'«input», • Renvoyer des «outputs» graphique, textuel ou sonore, • Renvoyer un «feedback» aux éditeurs <i>VirtualSolAq3</i>. 	Communication continue et contextuelle avec l'utilisateur et par extension, notifier un «feedback» aux éditeurs de <i>VirtualSolAq3</i>

²A partir d'une image clé, faire bouger des objets à une cadence précise (nombre d'images par seconde)

<i>Documentation</i>	<ul style="list-style-type: none"> • Apporter une précision convenable pour la procédure de réalisation d'une expérimentation 	Fournir une documentation (contextuelle ou générale) textuelle : <ul style="list-style-type: none"> • contextuelle pour un état précis • ou alors générale pour la documentation complète de <i>VirtualSolAq3</i>.
----------------------	--	--

Table 3.2: Décomposition de VirtualSolAq3 en sous-système

Communication entre sous-systèmes : contrôle, échange de données La figure ci-après donne une représentation graphique des liens de communication (contrôle et échange de donnée) entre nos six (6) sous-systèmes :

1. *Manipulation* : encapsule les modules de manipulation ;
2. *Simulation et expérimentation* : encapsule les modules de simulation et d'expérimentation ;
3. *Moteur d'inférence de correction automatique* : pour corriger toutes les activités de l'utilisateur ;
4. *Dynamique d'état d'exécution* : permet de garantir la dynamique des exécutions ;
5. *Communication* : encapsule les modules pour gérer les vues, les *entrées*, les *sorties*, et les *erreurs* ;
6. *Documentation* : encapsule la documentation complète : générale et contextuelle de *VirtualSolAq3*.

Décomposition de chaque sous-système en modules

Ladite décomposition encapsule : description de chaque module et de leurs interfaces, relations (*dépendance*) entre modules, interfaces. Ainsi, suivant les *principes de forte cohésion*³ à l'intérieur du module, de *faible couplage*⁴ entre les modules, et d'encapsulation⁵, pour chaque sous-système, nous avons une figure qui illustre ladite décomposition.

1. *Manipulation* :
2. *Simulation et expérimentation* : Ici, nous avons au total : **18 expériences à simuler**.

³Les éléments ne sont pas réunis dans un même module (ou une même classe) par hasard, ils forment un tout pour réaliser une tâche.

⁴Les modules (ou classes) sont relativement indépendants, ils ne dépendent le moins possible des éléments d'autres modules

⁵Les détails d'implémentation sujets au changement sont cachés derrière une interface stable.

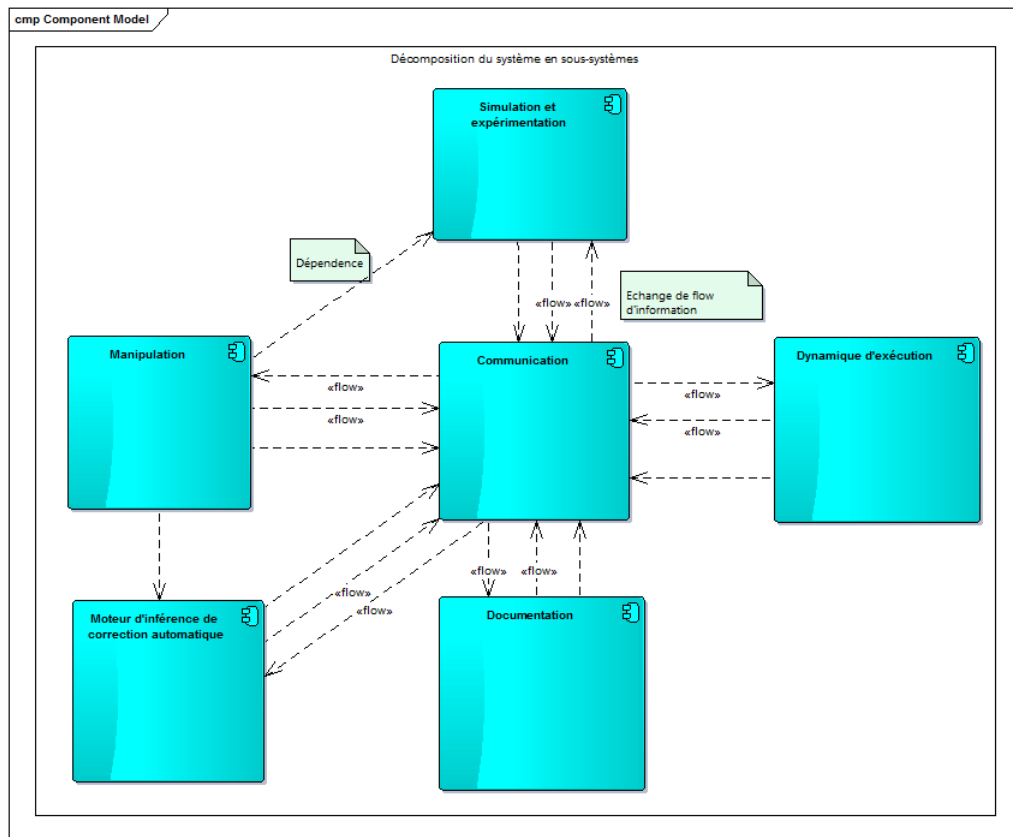


Figure 3.16: Modèle architectural communicationnel des sous-systèmes

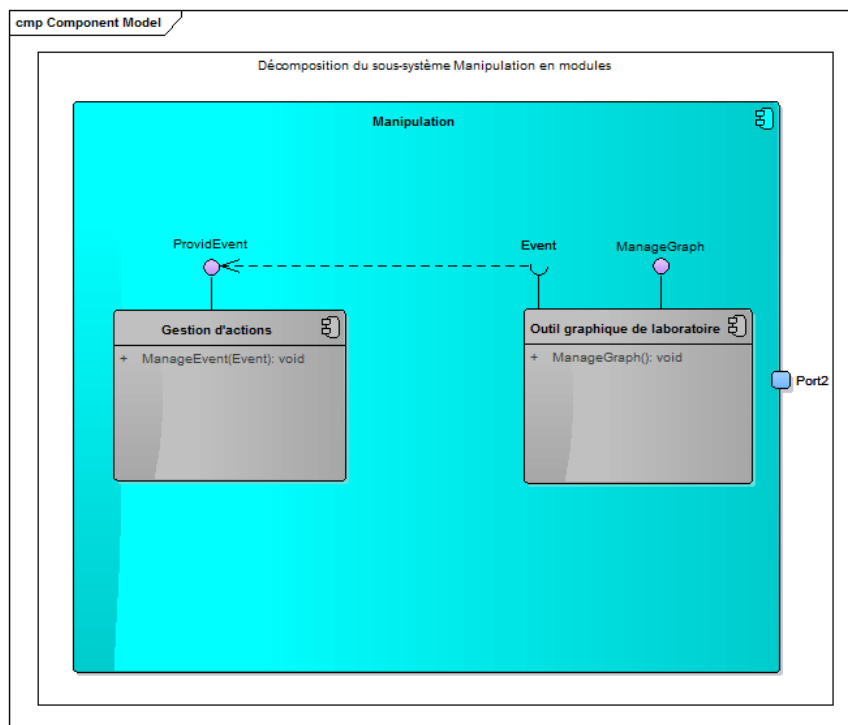


Figure 3.17: Décomposition en module du sous-système : Manipulation

3. Moteur d'inférence de correction automatique :

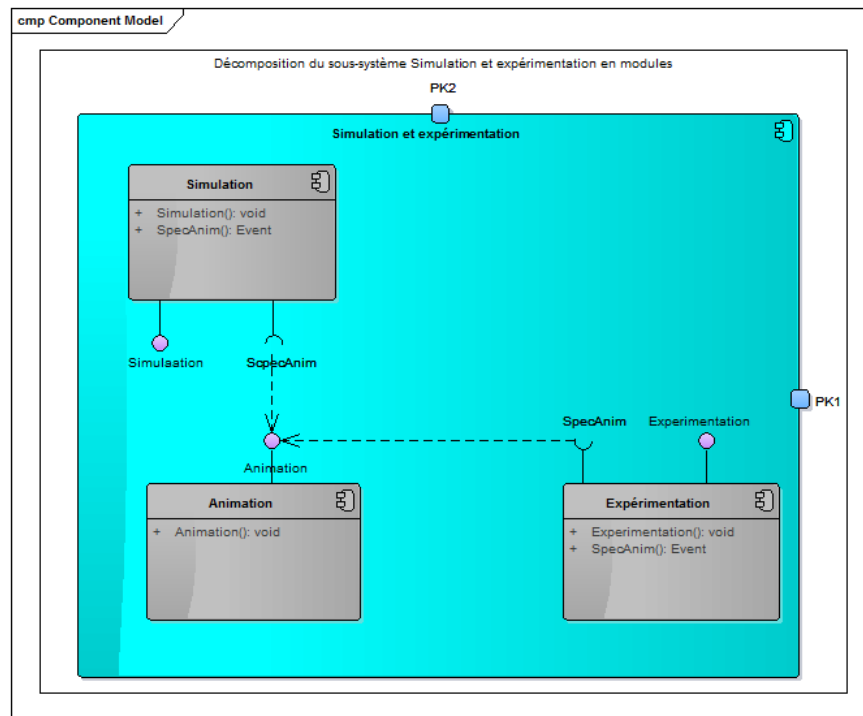


Figure 3.18: Décomposition en module du sous-système : Simulation et expérimentation

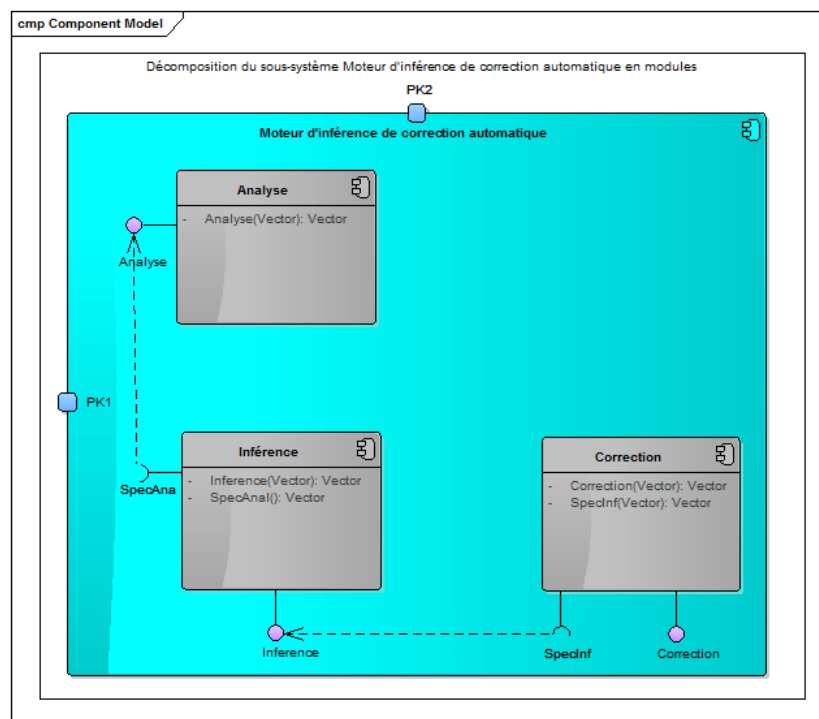


Figure 3.19: Décomposition en module du sous-système : Moteur d'inférence de correction automatique

4. *Dynamique d'état d'exécution* :

5. *Communication* :

6. *Documentation* :

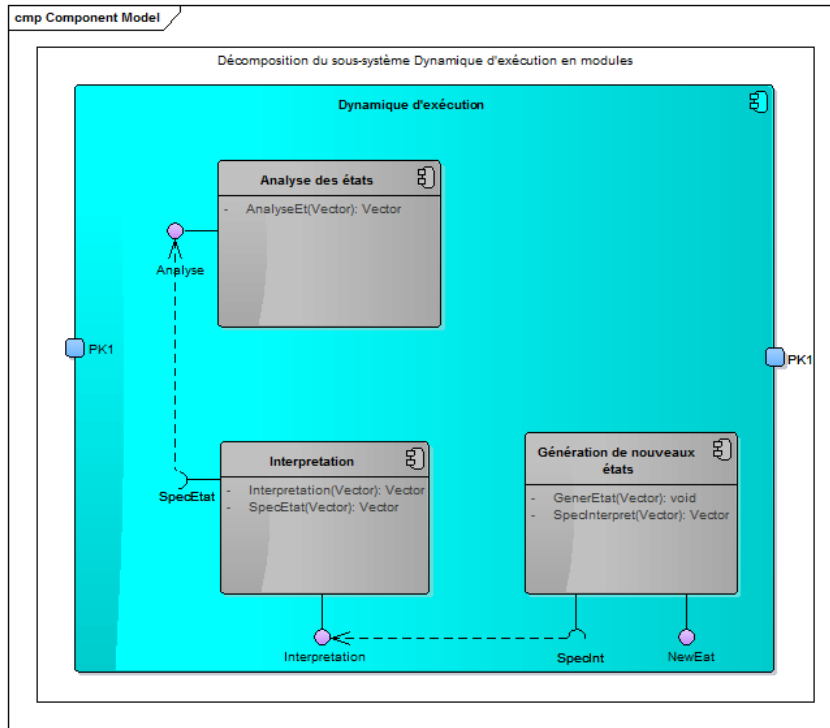


Figure 3.20: Décomposition en module du sous-système : Dynamique d'état d'exécution

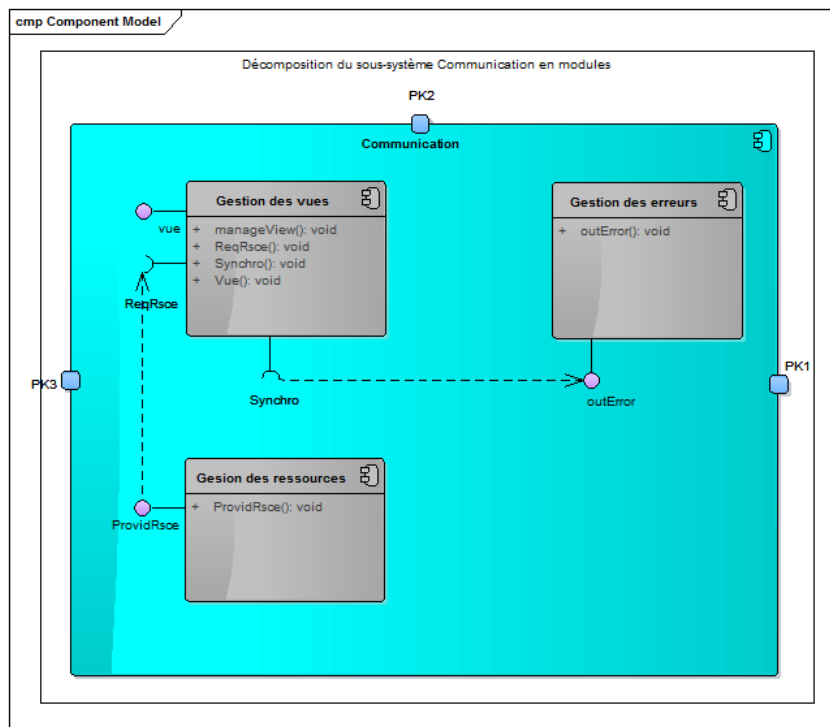


Figure 3.21: Décomposition en module du sous-système : Communication

Interfaces avec les systèmes externes

Nous n'avons qu'une seule. En effet concernant la fonctionnalité de notification aux éditeurs de *VirtualSolAq3* l'interface `notifier(chaineCaractère) : Booléen` communique avec le système externe de *navigation internet* via un navigateur internet dans un ordinateur connecté à internet.

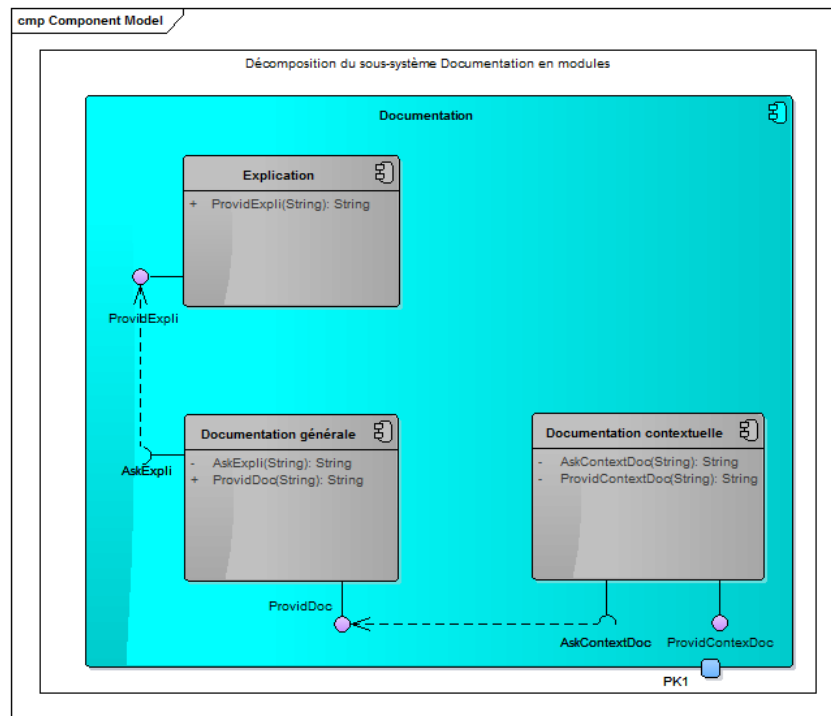


Figure 3.22: Décomposition en module du sous-système : Documentation

Synthèse de la conception architecturale ou générale

Arrivés à ce stade de notre conception architecturale, nous faisons une synthèse où nous ressortons avec le *modèle architectural* de *VirtualSolAq3*. Nous obtenons la figure suivante :



Figure 3.23: Modèle architectural de VirtualSolAs3

Principes de fonctionnement du système

Dans le modèle architectural ci-dessus :

- La hiérarchisation de 1^{er} niveau décompose le système en six (6) sous-systèmes *communicants*.
- La hiérarchisation de 2nd niveau décompose chaque sous-système en modules, qui par la suite engendrent des composants considérés comme *unités d'abstraction* dans notre processus de conception logicielle.

La *relation de dépendance* entre sous-systèmes comme entre modules : indique une hiérarchie d'ordre d'exécution et de bon paramétrage. *Grâce aux interactions entre modules de sous-système et inter-*

actions entre sous-systèmes, nous obtenons un tout intelligible pour réaliser toutes les fonctionnalités attendues de VirtualSolAq3.

3.5.3 Conception détaillée

Dans une structuration détaillée, nous avons :

Structure de données

Nous distinguons les structures de données simples (entier, flottant, booléen) et les structures de données complexes (tableau, tableau multidimensionnel, vecteur).

Interface des fonctions

Nous avons essentiellement :3.23.

Stratégie de traitement des erreurs et des cas d'exceptions

Dans un contexte d'INE, la stratégie de traitement des erreurs est *orientée pédagogie*, c'est-à-dire qu'elle permet de conduire l'apprenant vers la connaissance.

Quelques choix techniques

Paradigme de programmation : nous sommes orientés vers le *paradigme de la programmation orientée objet (POO)*.

Choix langage de programmation : nous utilisons le langage de programmation *Actionscript 3* afin de bénéficier du paradigme de la POO et des animations et simulations aisées.

Choix IDE (Integrated Development Environment) de développement : sans aucun doute, les choix précédents nous ont orientés vers les produits d'Adobe : *Flash Professionnal* en sa version CS6.

3.6 Conception ergonomique

La conception ergonomique a pour but de définir l'*utilisabilité du système*. C'est ainsi que suivant l'*approche de conception ergonomique centré sur l'utilisateur*, nous obtenons :

3.6.1 La charte graphique

Afin de garantir l'unité graphique, nous mettons en place une cohérence visuelle et pertinente pour une communication optimale.

Couleur

Du fait qu'on a à faire à des adolescents, pour l'arrière-plan nous utiliserons : *bleu ciel*, le blanc, le vert sombre. La couleur *rouge* sera utilisée pour attirer l'attention et le *vert* pour signifier le fonctionnement correct. La couleur *grise* sera utilisée pour les menus inaccessibles. La couleur des écritures sera : Blanc, noire ou gris cassé, ou jaune.

Police de caractère

La police *Arial* (pour le corps du contexte), la police *Times* (pour les titres), et la police *Lucida Calligraphy* (pour le design).

Le style

Nous retiendrons : le gras, l'italique, souligné, majuscule et petite capitale.

Distribution des menus

Pour la distribution des menus, nous utilisons la *disposition circulaire*. Une *disposition verticale* pour le choix des activités.

Iconographie

Elle renvoie essentiellement au logo de *VirtualSolAq3*, aux graphiques et aux différentes icônes (petites images) que nous allons utiliser dans *VirtualSolAq3*.

Entrée des données

Par soucis de facilité d'utilisation, les entrées sont effectuées au moyen du clic ou un clic glissé.

Dispositif de contrôle et d'affichage

Il sera prévu un *feed-back audio* pour accompagner l'apprenant.

Multimédia

Nous avons les *images didactiques*, *photographies*, *graphiques*, les *animations* et *sons* (structuration de l'apprentissage).

Recommandations ergonomiques

Critère	Description
Compatibilité	Adéquation de l'interface à l'utilisateur
Guidage	Orientation dans l'utilisation de l'interface
Homogénéité	Uniformité de la logique d'utilisation et/ou de présentation
Flexibilité	Variation des procédures pour le même but
Contrôle utilisateur	Maîtrise des traitements réalisés par le système
Traitement des erreurs	Protection contre les erreurs et correction
Charge mentale	Optimisation des mécanismes cognitifs.

Table 3.3: Synthèse des critères de l'utilisabilité selon Bastien et Scapin (1993)[1]

Maquette des pages de VirtualSolAq3 :

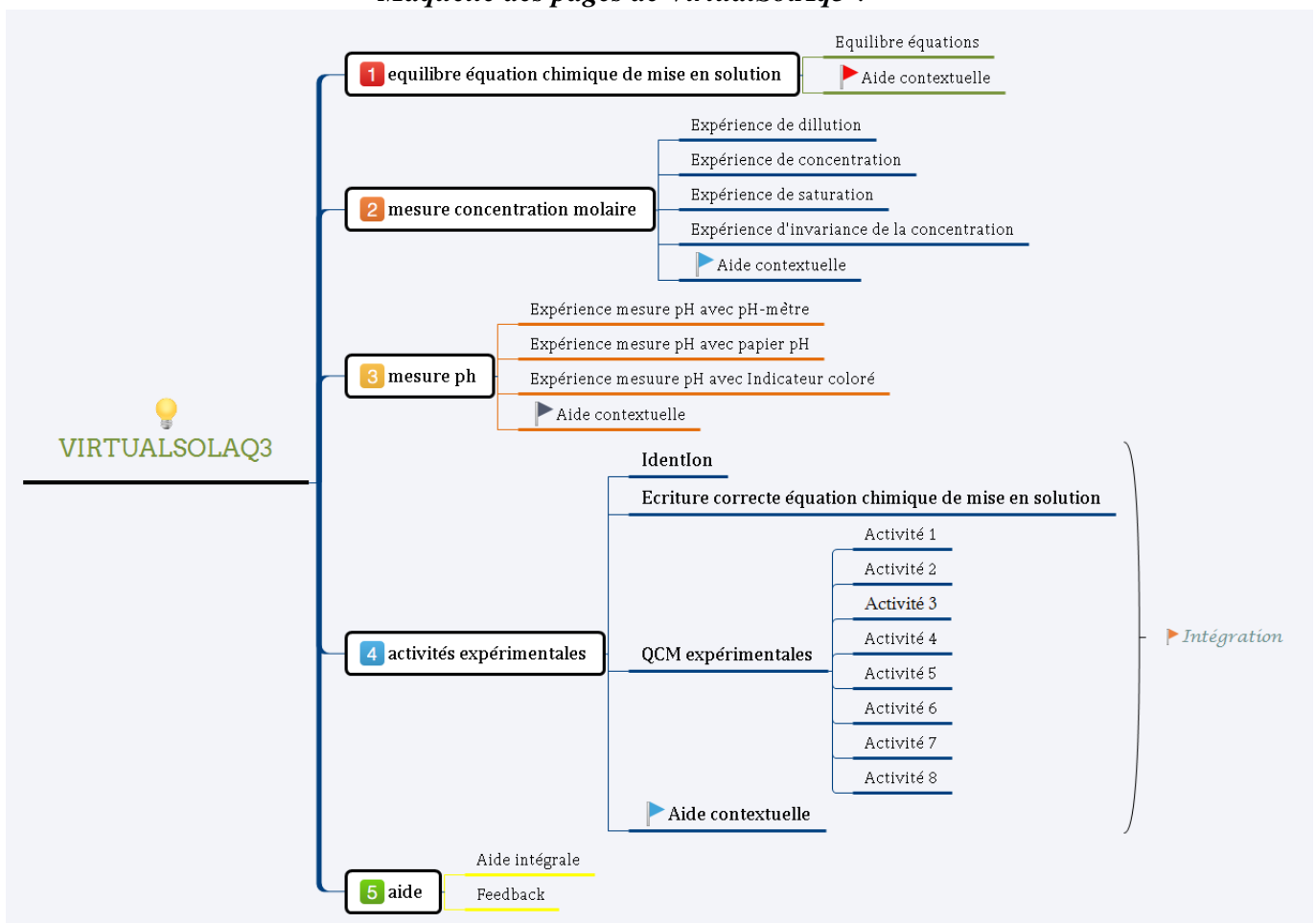


Figure 3.24: Maquette des pages de VirtualSolAq3

Structure gravitationnelle de *VirtualSolAq3* (diagramme d'enchaînement des pages suivant) :

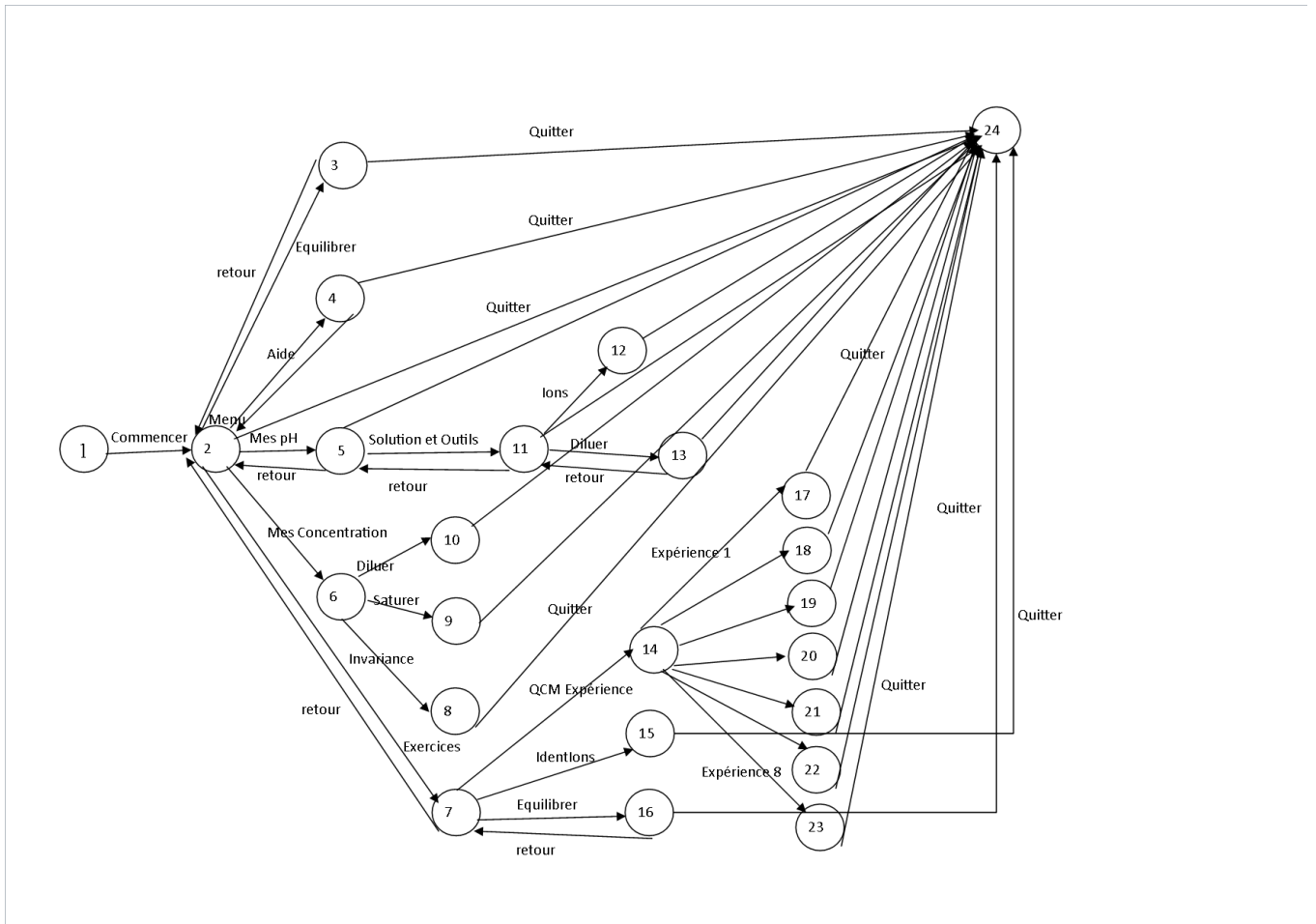


Figure 3.25: Structure gravitationnelle de *VirtualSolAq3*

3.6.2 Description des interfaces

Ces interfaces se déclinent comme suit : La **page accueil** : on y trouve l'image d'un laboratoire, le logo de *VirtualSolAq3* La page de menu : celle-ci comporte l'ensemble des différents modules de *VirtualSolAq3*.

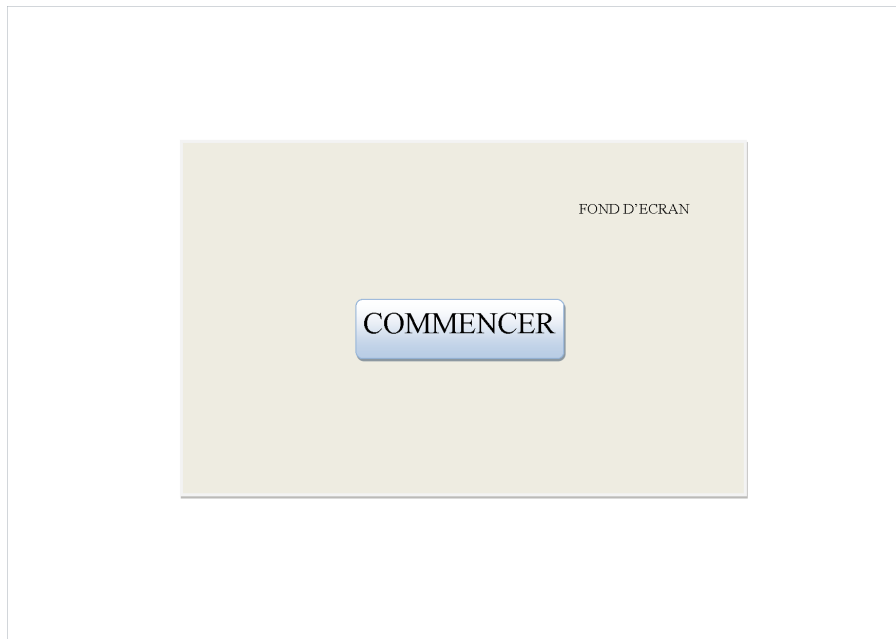


Figure 3.26: Page d'accueil de *VirtualSolAq3*

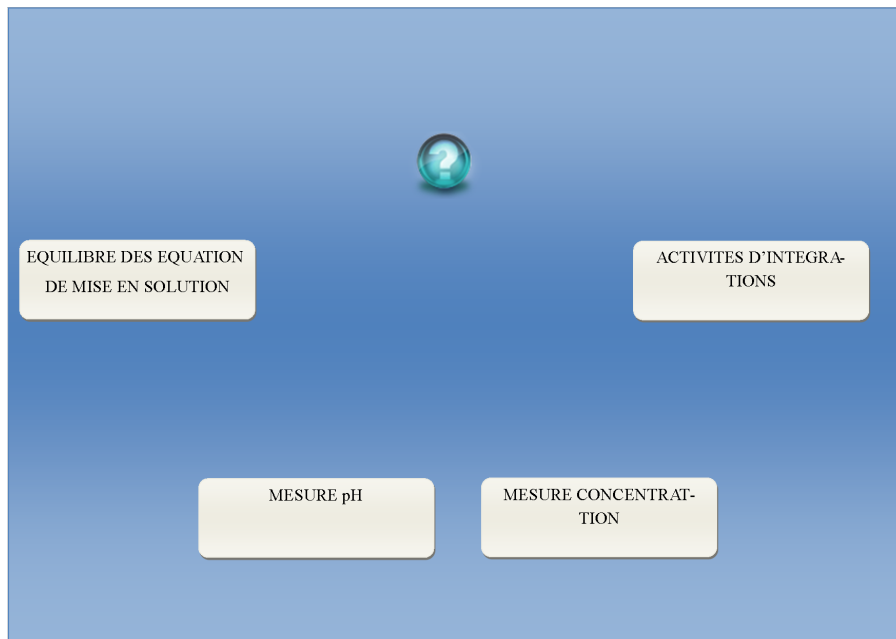


Figure 3.27: Page des menus de *VirtualSolAq3*

La *page d'aide* : pour la documentation sur *VirtualSolAq3*.
La *page sur l'expérience de mesure du pH avec pH-mètre* :

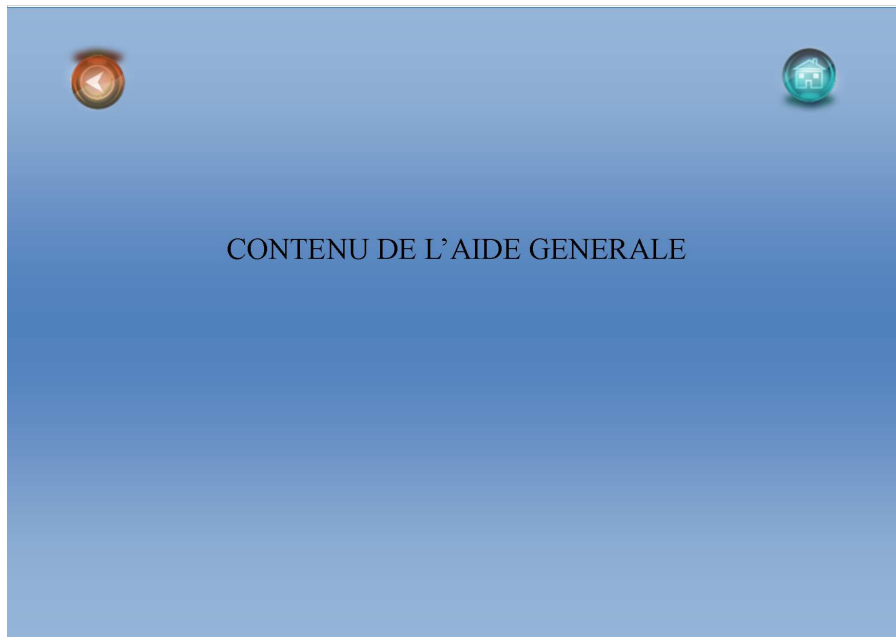


Figure 3.28: Page d'aide générale de *VirtualSolAq3*

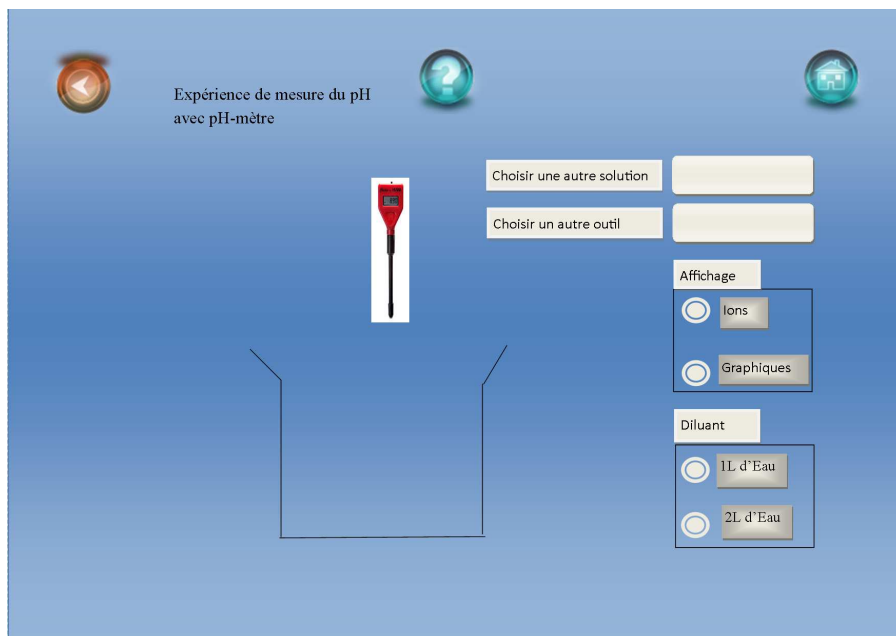


Figure 3.29: Page d'aide mesure du pH avec pH-mètre de *VirtualSolAq3*

La *page sur l'expérience de mesure du pH avec papier pH* :

La *page sur l'action des indicateurs colorés* :

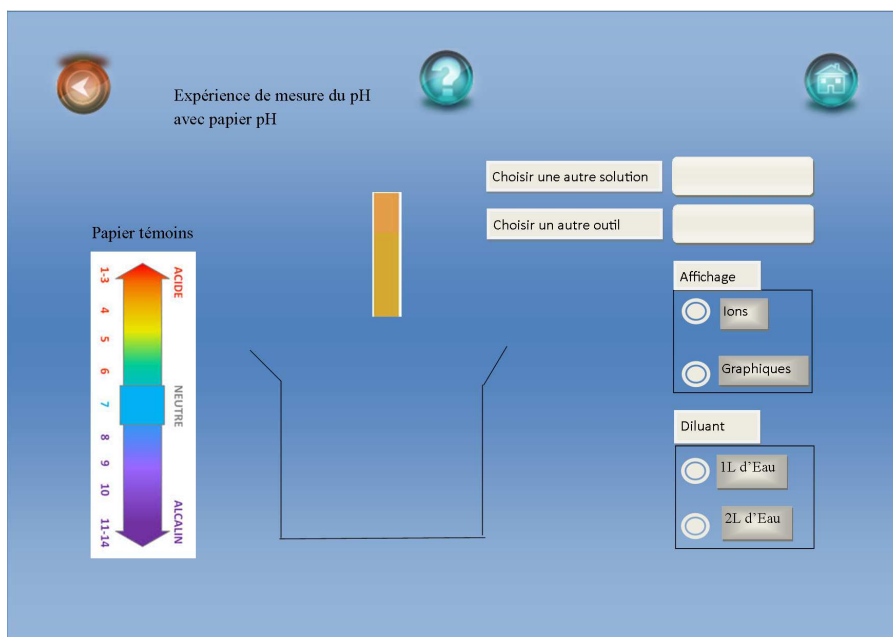


Figure 3.30: Page d'aide mesure du pH avec papier pH de *VirtualSolAq3*

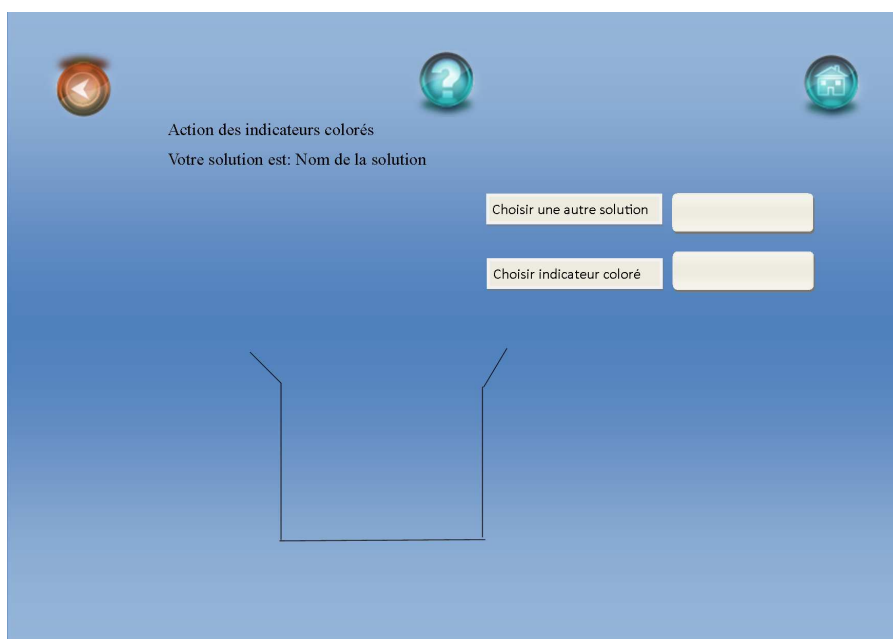


Figure 3.31: Page de l'action des indicateurs colorés de *VirtualSolAq3*

3.7 Implémentation

L'implémentation nous donne le produit escompté à l'endroit de notre public cible.

3.8 Discussion

VirtualSolAq3 est un laboratoire virtuel qui a été conçu suivant une démarche scientifique car utilise les *modèles* et *outils* de la science. Ceci avait pour but de développer un logiciel utile c'est-à-dire en adéquation avec les besoins exprimés par la maîtrise d'ouvrage (le DITE-ENS, les enseignants de chimie, et les apprenants) et utilisable c'est-à-dire qui rend compte de la qualité de l'interaction Homme-Machine en termes de facilité d'apprentissage et d'utilisation. Ceci étant, au terme de notre investigation, nous avons obtenu *VirtualSolAq3* qui a fait l'objet de nombreux tests (unitaire, modulaire, d'intégration et d'acceptation) dans le but d'évaluer son utilité et son utilisabilité.

La figure ci-dessous illustre le menus principal des manipulations et expérimentations qu'offrent *VirtualSolAq3* :



Figure 3.32: Menu accueil de VirtualSolAq3

En effet il était question de permettre à l'apprenant de :

* Maîtriser l'art ou la méthode pour équilibrer une équation chimique de mise en solution.

Après le choix de la solution, l'apprenant perçoit l'équation de ladite solution associée à des balances en état de déséquilibre.

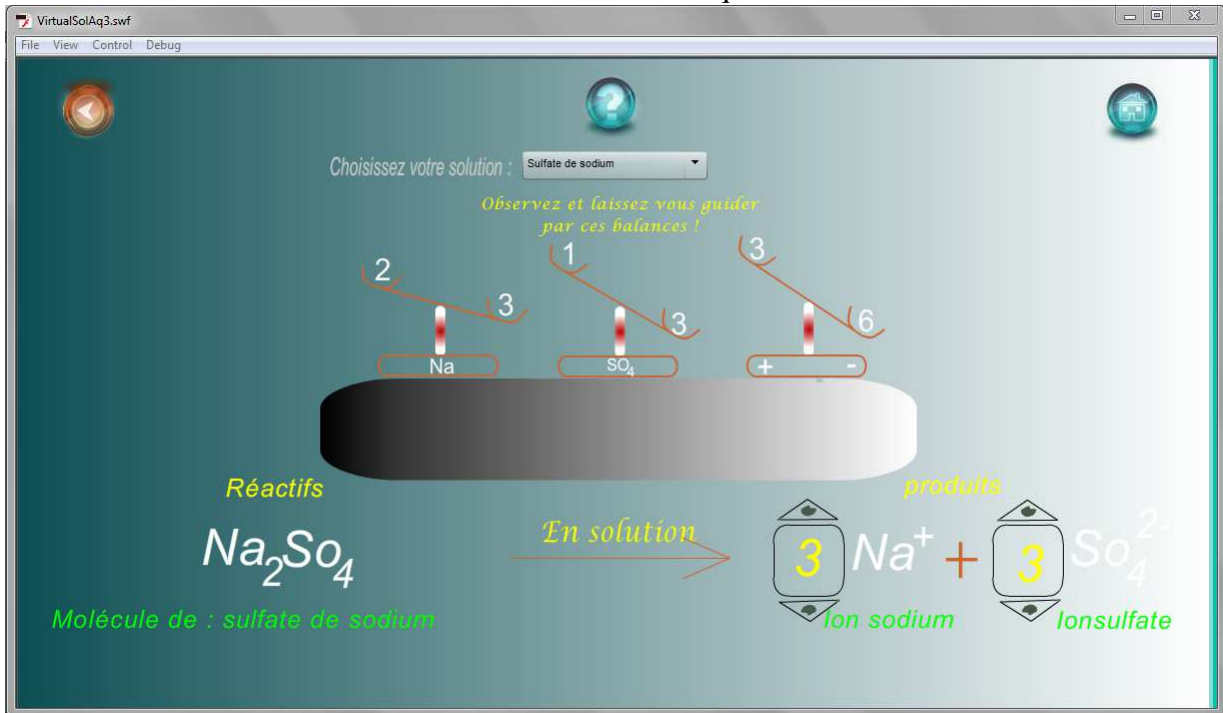


Figure 3.33: Équilibre équation de mise en solution aqueuse : état de déséquilibre

Après manipulation des coefficients stochiométriques, les balances sont en état d'équilibre une fois les bons coefficients associés : ce qui induit à l'équilibre de ladite équation.

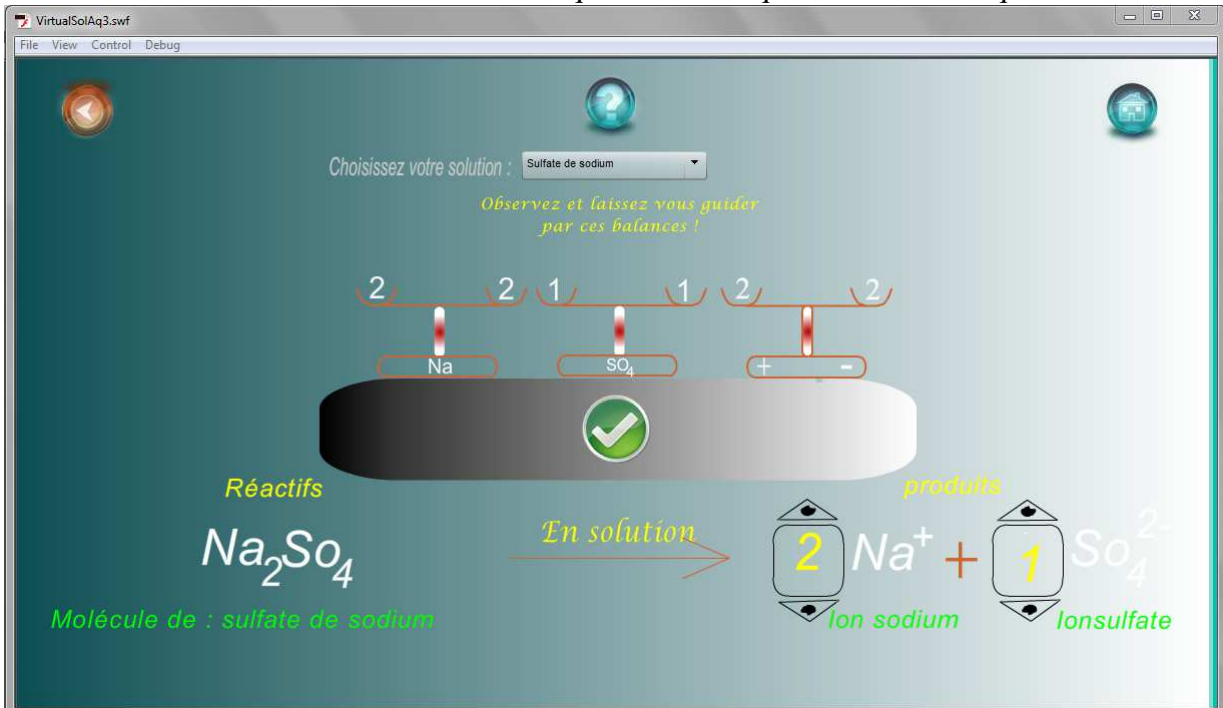


Figure 3.34: Équilibre équation de mise en solution aqueuse : état d'équilibre

* Identifier un ion (formule chimique et nom chimique) dans un ensemble ions (anion et cation) :

L'apprenant est invité à associer la bonne formule chimique à un nom d'ion donné.

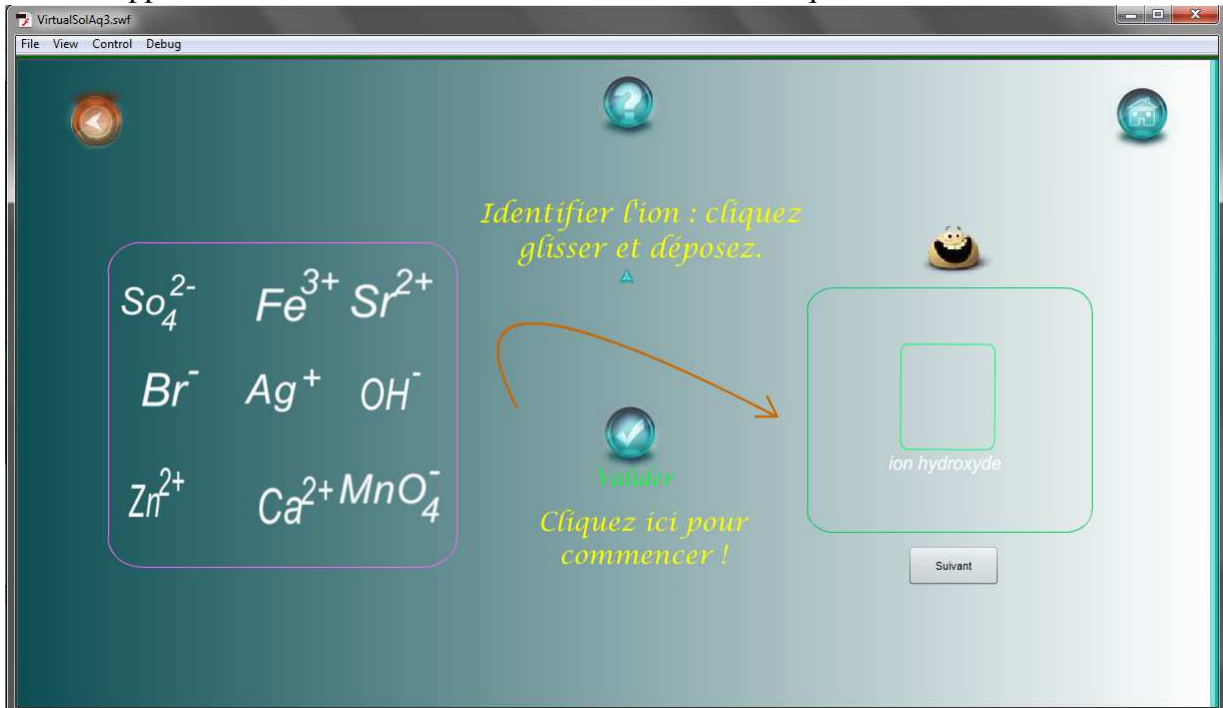


Figure 3.35: Activité d'intégration d'identification d'ion : état d'identification

Après association s'en suit la correction.

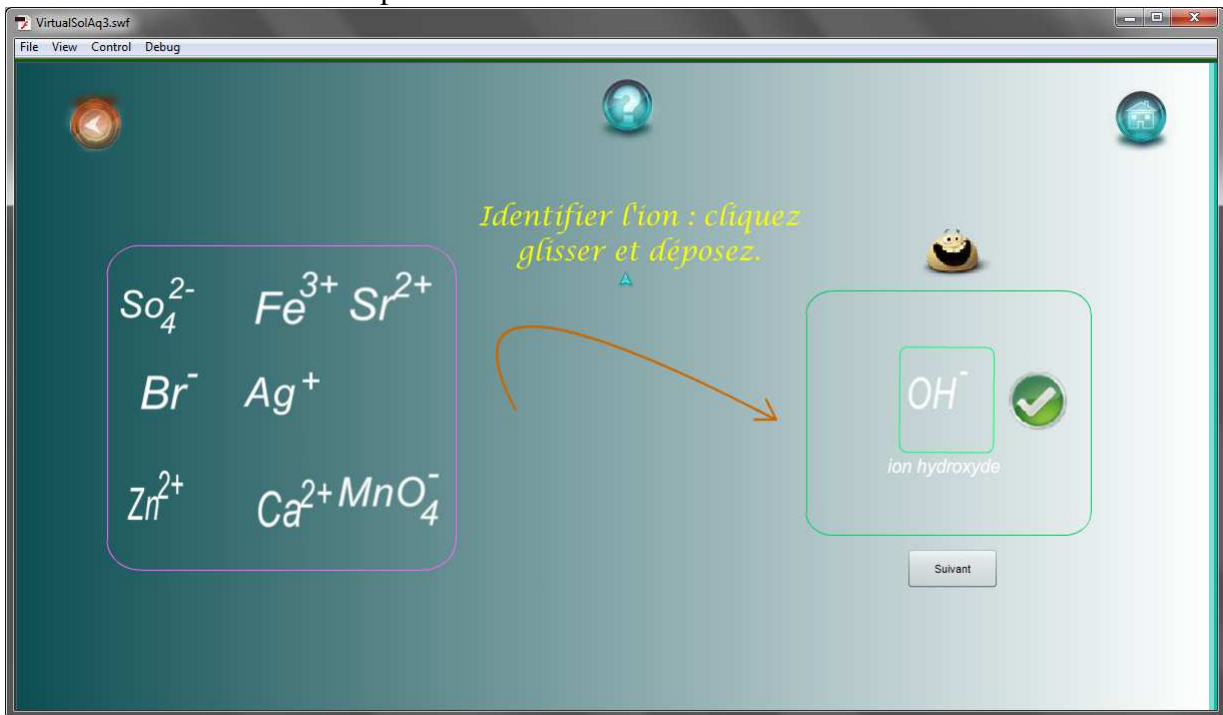


Figure 3.36: Activité d'intégration d'identification d'ion : état correction de l'identification

* Écrire correctement l'équation chimique de mise en solution d'un composé chimique (réactif ou molécule chimique) donné :

Pour une équation de mise en solution indiquée, l'apprenant est invité à choisir le bon réactif, les bons produits et le bon coefficient stoechiométrique de chaque produit.

A partir des coefficients stoechiométriques, des réactifs et les produits ci-dessous : écrire l'équation de mise en solution qui vous est indiquée.

Réactifs

H_2O	$NaOH$	$BaSO_4$
$CaCl_2$	K_2SO_4	$ZnCl_2$
$NaCl$	KCl	Na_2SO_4

Produits

Na^+	Br^-	Ba^{2+}	Fe^{3+}
Zn^{2+}	K^+	Ca^{2+}	Ba^{2+}
Al^{3+}	Cl^-	SO_4^{2-}	OH^-

Note : 0/20

Hydroxyde de sodium :

En solution → +

Cation Anion

Figure 3.37: Activité d'intégration d'écriture correcte d'équation de mise en solution : état d'écriture

Après positionnement, une correction s'en suit.

A partir des coefficients stoechiométriques, des réactifs et les produits ci-dessous : écrire l'équation de mise en solution qui vous est indiquée.

Réactifs

H_2O	$BaSO_4$	
$CaCl_2$	K_2SO_4	$ZnCl_2$
$NaCl$	KCl	Na_2SO_4

Produits

Br^-	Ba^{2+}	Fe^{3+}	
Zn^{2+}	K^+	Ca^{2+}	Ba^{2+}
Al^{3+}	Cl^-	SO_4^{2-}	

Note : 03/20

Hydroxyde de sodium :

En solution → +

Cation Anion

Figure 3.38: Activité d'intégration d'écriture correcte d'équation de mise en solution : état correction

* Déterminer la nature d'une solution à l'aide du papier pH :

Après le choix de la solution et du papier pH comme outil de mesure, l'apprenant perçoit l'interface ci-dessous.

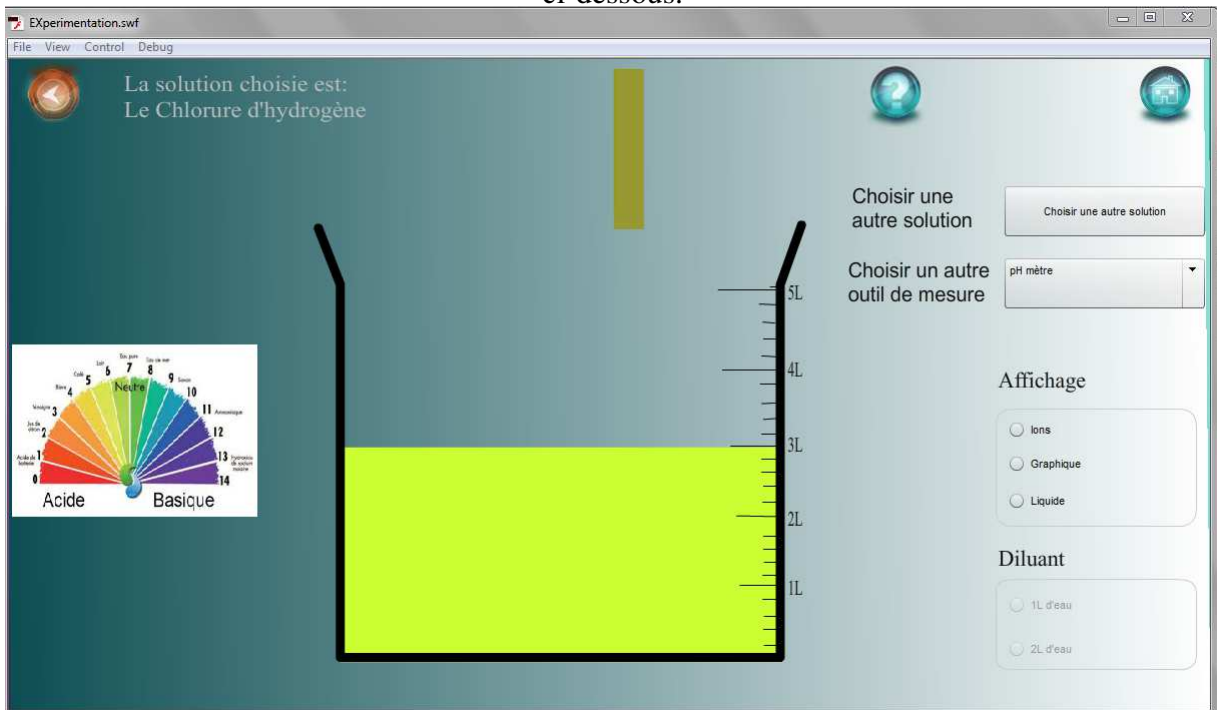


Figure 3.39: Expérimentation du mesure du pH de la solution de chlorure d'hydrogène avec le papier pH : état d'initialisation

Lorsque l'apprenant effectue un clic glissé et déposé sur le papier pH, il peut observer la nouvelle coloration du papier pH.

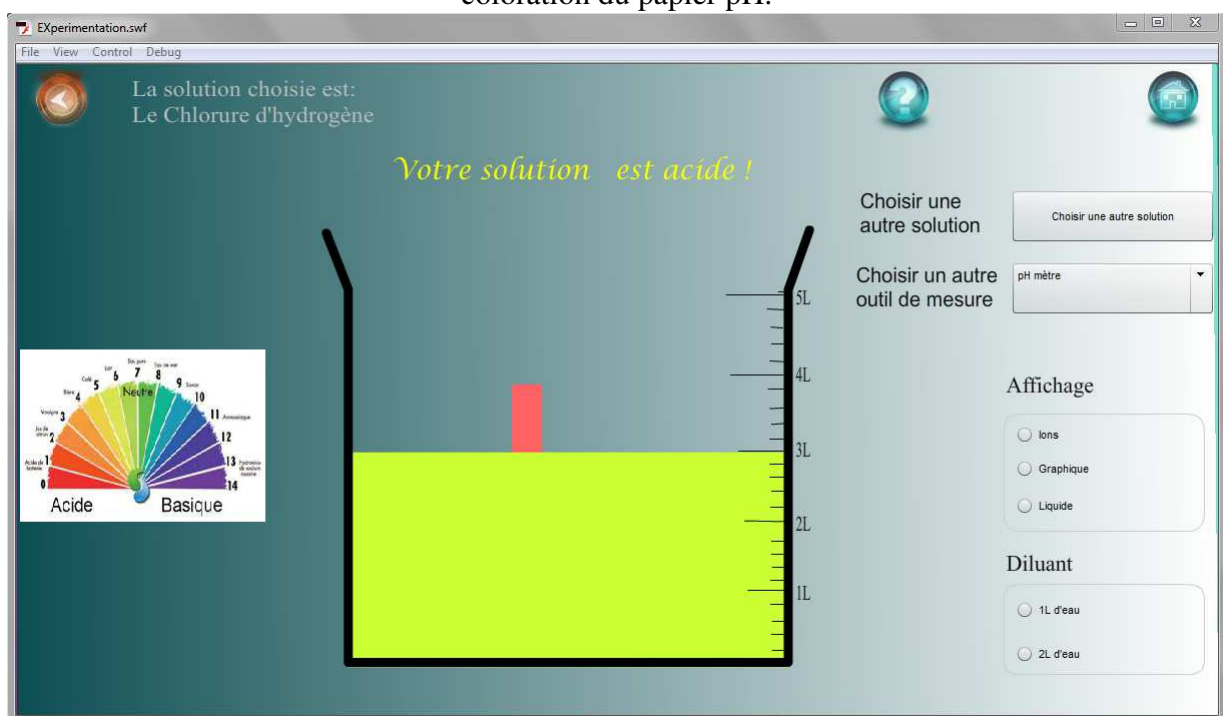


Figure 3.40: Expérimentation du mesure du pH de la solution de chlorure d'hydrogène avec le papier pH : Mesure effective

* Caractériser une solution par la valeur donnée par le pH-mètre :

Après le choix de la solution et du pH-mètre comme outil de mesure, l'apprenant perçoit l'interface ci-dessous.

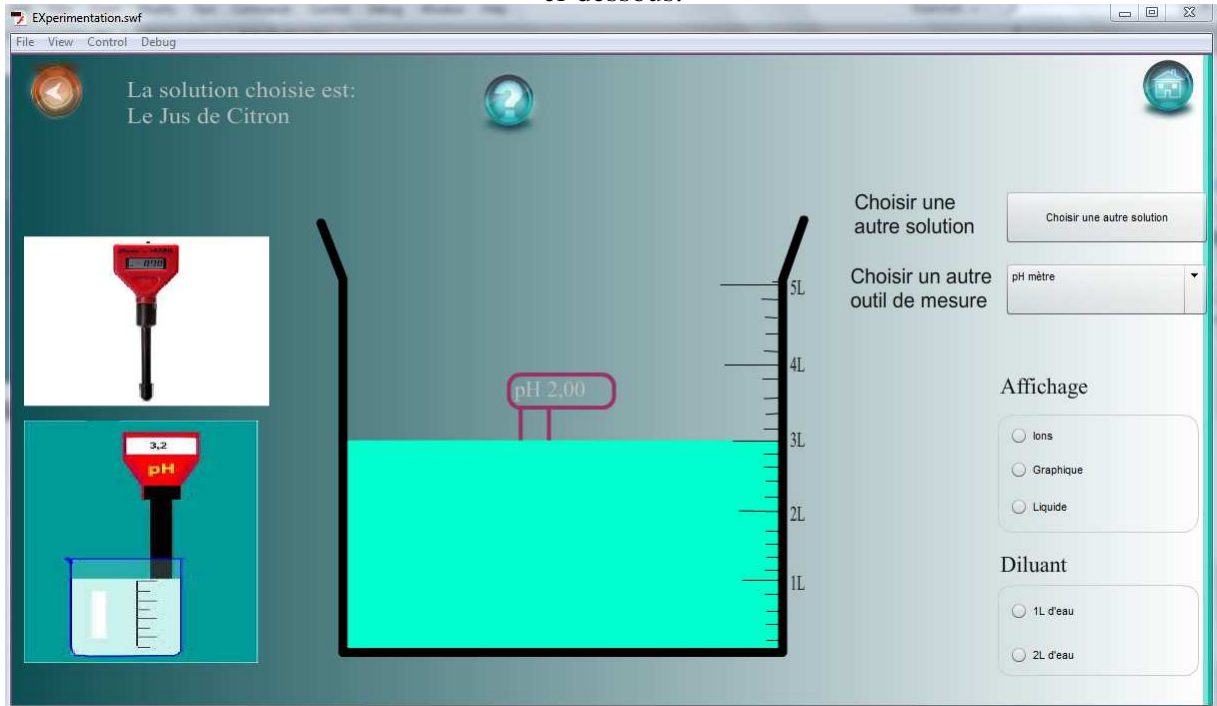


Figure 3.41: Expérimentation du mesure du pH du jus de citron avec le pH mètre : état d'initialisation

Lorsque l'apprenant effectue un clic glissé et déposé sur le pH-mètre, il peut observer dessus la valeur du pH de sa solution.

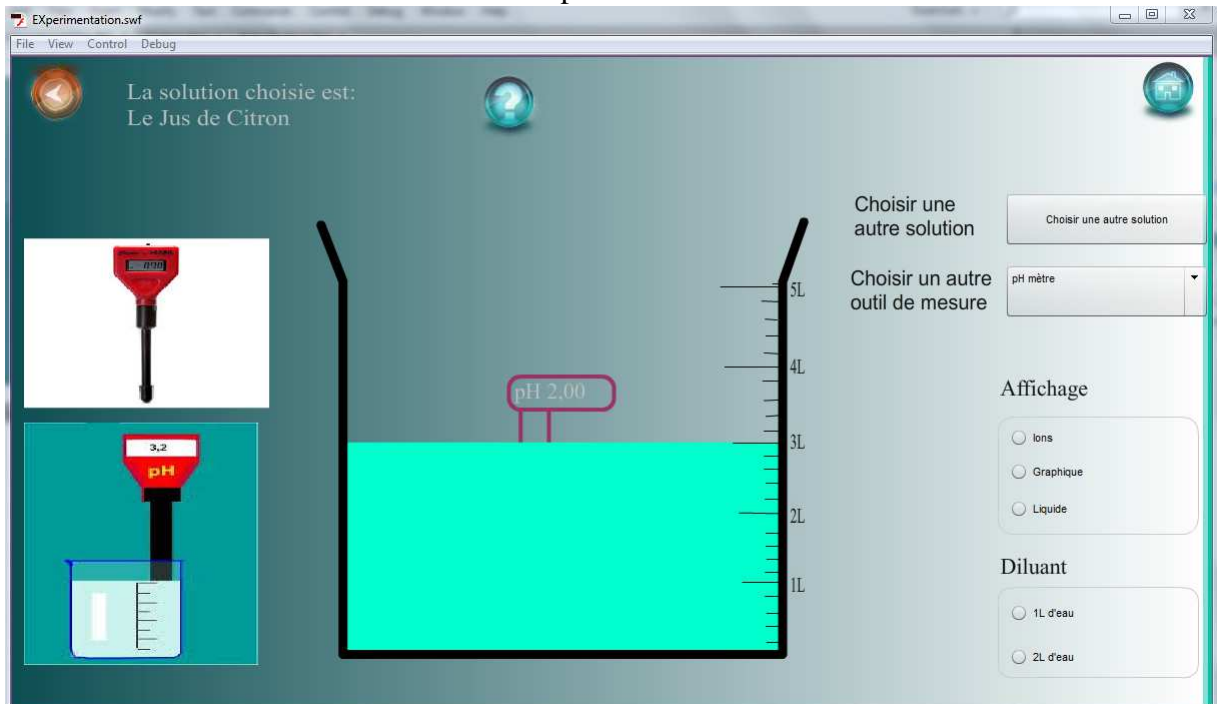


Figure 3.42: Expérimentation du mesure du pH du jus de citron avec le pH mètre : Mesure effective

Les *tests unitaires, modulaires d'intégrations, et système* qui ont été réalisés au sein de l'équipe de développement (membres du groupe, et l'encadreur ou directeur du mémoire). Nous avons réalisés des tests β avec les Enseignants de Chimie et les élèves de la classe de 3^{ème} de nos trois lycées respectifs. En effet, auprès des Enseignants, nous avons eu à :

1. Confronter le cahier de charge de *VirtualSolq3* avec la réalisation effective de *VirtualSolq3* : pour une validation (besoins fonctionnels et besoins non-fonctionnels) de la *consistance* à 97,6% ;
2. Effectuer des tests système sur les plans : *utilité, utilisabilité et acceptabilité*.

Pour ce qui est de la validation par les élèves, nous avons eu à :

1. Choisir qualitativement et quantitativement notre échantillon représentatif (197 élèves) ;
2. Effectuer une *évaluation sommative* avant l'utilisation de *VirtualSolq3* ;
3. Soumettre notre échantillon à l'utilisation de *VirtualSolq3* ;
4. Effectuer une autre évaluation sommative après utilisation de *VirtualSolq3*.

C'est ainsi que nous avons constaté une *augmentation de plus de 55% (passage de 40% à 95%)* du taux de réussite des élèves après utilisation de *VirtualSolq3*.

De tout ce qui précède, nous pouvons constater que les hypothèses qui ont été émises au départ se sont avérées. Ainsi, le développement d'un laboratoire virtuel peut apporter une solution au manque de laboratoires physiques ou de laboratoires physiques défectueux. L'utilisation de *VirtualSolq3* améliore la compréhension des notions portant sur les solutions aqueuses et partant la qualité des résultats des élèves en Chimie dans la classe de 3^{ème} au Cameroun. Et donc, nous disons que : *VirtualSolq3 est un laboratoire virtuel non seulement utile, mais aussi utilisable et acceptable par les élèves de la classe de 3^{ème} au Cameroun.*

Implications sur le système éducatif

Les chapitres 1, 2 et 3 nous ont permis de développer notre laboratoire virtuel *VirtualSolAq3*. Cependant, il est important de dégager l'implication pédagogique et/ou didactique de ce développement à l'endroit des acteurs du milieu éducatif. Nous distinguons :

4.1 Implications pédagogiques pour l'apprenant (élève)

1. **Facilitation de la compréhension** : Pour faciliter la compréhension de l'apprenant, nous avons utilisé des mécanismes différents de ceux qui lui sont traditionnellement présentés. Dans le module relatif à l'équilibre des équations, les balances, symbole de l'équilibre, lui sont présentées. En observant attentivement le comportement des balances suite à la variation des coefficients stœchiométriques qu'il affecte aux ions, l'élève perçoit assez aisément ce qu'il y a lieu de faire pour parvenir à l'équilibre des charges, et des quantités de matière.
Pour expliquer la notion de concentration de la solution, une loupe permet à l'apprenant d'observer les ions prépondérants dans une solution donnée, et de constater que plus les molécules sont nombreuses et proches les unes des autres, plus la solution est concentrée. De nombreuses simulations dix-huit (18) permettant de mettre en exergue les colorations prises par les indicateurs colorés en présence d'ions H_3O^+ , ou d'ions OH^- , permettent à l'apprenant de mémoriser les colorations prises par chacun d'eux en milieu acide, ou basique.
2. **Acquisition de connaissances** : Pour permettre à l'apprenant de garder des traces mnésiques, il est constamment en activité dans *VirtualSolAq3*. Cette participation permanente lui permet de rester en éveil, d'apprendre en faisant et partant, de retenir même inconsciemment les connaissances.
3. **Manipulation de concepts** : Le laboratoire virtuel développé dans le cadre du présent travail permet à l'apprenant de manipuler les concepts liés à l'équilibre des équations, à la concentration molaire des solutions, à la dilution, au potentiel hydrogène (pH), aux indicateurs colorés. Toutes ces notions sont celles abordées dans le chapitre portant sur les solutions aqueuses. Il est spécifiquement appelé à manipuler ces concepts dans le module relatif aux activités d'intégration. Ici, il mobilise de nombreuses connaissances et les met en relation pour parvenir à opérer le bon choix, parmi les propositions qui sont faites.

4. **Raisonnement déductif** : Les trois premiers modules du logiciel ont pour vocation de permettre à l'apprenant de mieux comprendre les concepts de base du chapitre portant sur les solutions aqueuses. Dans le dernier module, l'apprenant doit pouvoir déduire qu'elle est la bonne réponse qu'il faut choisir, compte tenu des manipulations qui ont été faites.
5. **Analyse** : L'apprenant doit analyser les situations qui se présentent à lui, comprendre le mécanisme qui est mis en œuvre pour réussir à faire le lien entre ce qui lui est demandé et ce qu'il connaît.
6. **Activités psychomotrices** : Dans VirtualSolAq3, l'apprenant est appelé à effectuer des clics et des cliques glissés et déposés, pour mener les différentes activités. Ces opérations sont toujours précédées d'un moment d'observation au cours duquel ses yeux regardent attentivement ce qui lui est présenté ; d'un moment de réflexion pendant lequel il inspecte ses connaissances pour savoir ce qu'il y a lieu de faire. En fonction de ce qu'il voit et de ce qu'il comprend qu'il y a lieu de faire, il prend une décision. Cela participe grandement à développer ses aptitudes psychomotrices.

Nous pouvons donc dire que le laboratoire virtuel développé dans le cadre de ce travail permet à l'apprenant de transférer ses connaissances théoriques à des situations pratiques, de connaître les implications et les conséquences de ses décisions, de développer des habiletés d'ordre supérieur telles que l'analyse, la synthèse, la prise de décision, la résolution de problèmes.

4.2 Implications pédagogiques / didactiques pour l'enseignant

La didactique peut se définir comme étant l'ensemble des procédures retenues pour sélectionner, analyser, organiser les savoirs et les savoirs faire qui feront l'objet d'actions visant à leur appropriation par un public, en fonction des informations diverses relatives à ce public. L'accent est donc mis sur la manière dont les savoirs sont organisés et sur l'impact que cette organisation a sur les apprenants, compte tenu de leur âge, de leur niveau de compréhension.

Dans *virtualsolaq3*, les contenus sont ceux destinés aux enfants de la classe de troisième c'est-à-dire, des enfants dont l'âge varie entre treize et seize ans. Ces contenus ont été regroupés par module de manière à ce que dans un module donné, l'apprenant aborde des notions qui sont proches, facilitant ainsi sa compréhension. Par ailleurs, la simulation est la technique d'enseignement qui a été préconisée. Il s'agit de la reproduction d'une situation constituant un modèle simplifié mais juste d'une réalité, qui permet d'approfondir l'apprentissage, de mettre en pratique les notions théoriques vues en classe, et de motiver les élèves à faire des travaux pratiques.

De ce fait, *VirtualSolAq3* est un outil TICE issu de l'INE qui facilite la tâche de l'enseignant, et l'aide à amener les élèves (un grand nombre) à s'approprier le savoir. De plus qu'il ne sert à rien de répéter des centaines de fois la même expérience si on en connaît tous les résultats; un simulateur sera un choix beaucoup plus *intelligent* et la valeur pédagogique de l'expérience n'en sera pas diminuée.

4.3 Implications pour le corps administratif

Le coût de mise en œuvre de *VirtualSolAq3* n'est rien comparé à celui de mise en œuvre d'un laboratoire physique portant sur les solutions aqueuses. En outre les laboratoires virtuels sont accessibles au plus grand nombre (plus de problème d'effectif à accéder au laboratoire physique) et à ce titre constituent déjà une petite révolution.

◆ Conclusion générale et Perspectives ◆

Conclusion

Le développement frénétique des TIC dans notre époque considérée comme «ère de la nano-technologie», met en relief la place des TICE dans l'éducation moderne. L'enseignement de la chimie ne peut pas se tenir à l'écart de ces mutations. Les sciences dites expérimentales, comme la chimie doivent s'enseigner comme telle. Les laboratoires physiques sont des locaux par excellence pour ces expérimentations. Leur nécessité est sans aucun doute utile pour un tel enseignement même pour les pays du sud et en particulier pour le Cameroun. Pour autant, ici, ils ne sont pas à la portée de tous. C'est ainsi dans une *vision perspicace* de facilitation de l'appropriation des savoirs, nous avons développé *VirtualSolAq3* comme *outil TICE palliatif* à cette situation de manque de laboratoires physiques équipés ou laboratoires physiques défectueux. *VirtualSolAq3* issue de l'INE est accessible via un ordinateur, ne saurait remplacer ou substituer un laboratoire réel. Mais, en face d'une telle situation, cet outil est *bienvenue* de part ses nombreuses *valeurs pédagogiques, didactiques et ses intérêts multivariés* (social, économique, professionnel, psychologique et scientifique). Afin de garantir l'*utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité* du résultat, le travail s'est alors articulé suivant trois axes : *pédagogique, logiciel et ergonomique* articulées progressivement et conjointement en phases : *d'phase d'analyse, de conception, d'implémentation, de test et de validation*. C'est ainsi que nous avons obtenu des résultats satisfaisant lors des tests de validation à l'endroit du public.

Perspectives

VirtualSolAq3 comme toute œuvre humaine ne saurait incarner la perfection absolue malgré ses avantages et intérêts multidimensionnels. Son efficacité ne saurait faire oublier son *défaut principal* quand il s'agit de manipulation directe : *le laboratoire virtuel ne reproduit fidèlement ni les délais, ni les sensations ni les possibilités de dérangements imprévus*. Dans ce contexte, les apprentissages réalisés ne comporteront qu'une partie de la réalité et les individus ne seront que partiellement qualifiés. ***Qu'en est-il des laboratoires virtuels qui intègrent les dernières technologies des réalités virtuelles, des réalités augmentées ?***

Ces travaux continuerons donc, dans une perspective d'élargissement du public cible, d'amélioration de l'utilité, l'utilisabilité et l'acceptabilité de celui-ci ; ainsi qu'un plan d'*intégration effectif* dans le sous-système éducatif francophone au Cameroun. Tout compte fait, la *perspective d'intégration des technologies issues des réalités virtuelles, des réalités augmentées n'est pas négligeable*.

◆ Bibliographie ◆

- [1] Jean-Yves ANTOINE. Ergonomie des IHM, novembre 2013. UFR Sciences et Technologies.
- [2] F. AUDRY. La démarche d'analyse fonctionnelle, février 2010. STI, TAILLARD IA-IPR.
- [3] B. BOEHM. Software engineering economics, 1981. Prentice-Hall.
- [4] Anastasia Bezerianos. Interaction homme-machine, mars 2014. IHM Polytech.
- [5] CCDMD. Réaliser des ressources d'enseignement et d'apprentissage informatisées, novembre 2003. CCDMD.
- [6] Djomou et al. Conception et réalisation d'un laboratoire virtuel de chimie pour la classe de 3eme de l'enseignement secondaire au Cameroun, juin 2012. Mémoire de DIPES II en Informatique à l'ENS de Yaoundé.
- [7] Kameni et al. Laboratoire virtuel des Sciences de la Vie et de la Terre, juin 2011. Mémoire de DIPES II en Informatique à l'ENS de Yaoundé.
- [8] Kolski et al. Cycle de développement du logiciel : des cycles classiques aux cycle enrichis sous l'ange des interactions homme machine. novembre 2001. In Analyse et conception IHM, Interaction Homme-Machine pour les SI, Editions Hermes, Paris, pp36.
- [9] Nazaire Biwolé et al. Sciences physiques et technologiques 3eme, mai 2002. Un des livres actuellement au programme en classe de troisième au Cameroun.
- [10] Ngonou et al. Réalisation d'un laboratoire virtuel des sciences expérimentales dans le cycle d'observation du secondaire : Cas du logiciel de simulation des conditions de la germination des plantes en classe de 6eme., juin 2010. Mémoire de DIPES II en Informatique à l'ENS de Yaoundé.
- [11] Flesher and Peacock. Instructional system design. octobre 2004. Edmonton.
- [12] Anne-Celine Grolleau. La scénarisation pédagogique. mars 2012. CRGE Pays de la Loire.
- [13] Regis Medina. Principes avancés de conception objet, mars 2008. Crossbow Labs.
- [14] Sabrina Dube Morneau. Approche mad, octobre 2014. COM6535. Interaction Humain Ordinateur.

-
- [15] Henri ATANGANA ONDOA. Les facteurs d'efficacite des ecoles secondaires au cameroun. novembre 2011. Les Cahiers du CREAD n°96/2011.
- [16] Gilbert Paquette. L'ingénierie pédagogique : Pour construire l'apprentissage en réseau, octorbre 2002.
- [17] Romainville and Stufflebeam. Helmo développement pédagogique, novembre 1990. Construire un cours.
- [18] UNESCO. Rapport de la réunion d'experts sur les laboratoires virtuels, 2000. Organisation des Nations Unies pour l'éducation, la science et la culture, Paris.

◆ Annexes A : Principes de conception logiciel ◆

Principes de conception

Les principes de conception de Regis Medina[13] suivants ont érigés la conception logicielle de *VirtualSolAq3*. Nous distinguons :

Gestion des évolutions et des dépendances entre classes

Principe d'ouverture/fermeture(Open-Closed Principle [OCP])

Énoncé par *Bertrand Meyer*, ce principe stipule qu' : *un module doit être ouvert aux extensions, mais fermé aux modifications.*

Ce principe est incontournable lorsque l'on parle de *flexibilité du code*. C'est ainsi que, tout module de *VirtualSolAq3* (package, classe, méthode) sont *ouvert aux extensions, mais fermé aux modifications (l'impact des changements sur de nombreuses parties du logiciel)*. En d'autres termes, *l'ajout de fonctionnalités doit se faire en ajoutant du code et non en éditant du code existant*. Cependant, pour garantir ce principe, nous utilisons l'abstraction par trois (3) atouts de la programmation orientée objet : *héritage*¹, *encapsulation*² et les *classes*³.

Principe de substitution de Liskov Liskov Substitution Principle (LSP)

Ce principe stipule que : *les méthodes qui utilisent des objets d'une classe doivent pouvoir utiliser des objets dérivés de cette classe sans même le savoir.*

Chacune des sous-classes de *VirtualSolAq3* doit être conçue de sorte que ses instances puissent se substituer à des instances de la classe de base partout où cette classe de base est utilisée. Ainsi l'héritage est considéré comme : *offre de service*. Pour nous, en langage-objet, cela revient à dire que la classe de base est une interface exportée par toutes ses sous-classes. Ce concept rejoint celui du «*Design by contract*» de *Bertrand Meyer*, l'interface représentant un véritable *contrat* passé entre chaque sous-classe et les classes susceptibles de l'utiliser.

¹Dériver de nouvelles classes par spécialisation de classes existantes. Une classe héritée ou dérivée hérite des attributs et des méthodes de la classe mère.

²Regroupement des données (attributs) et des fonctions (méthodes) dans une classe

³Abstraction décrivant un ensemble d'objets potentiellement infini.

Principe d'inversion des dépendances Dependency Inversion Principle (DIP)

Ce principe stipule que :

A. *Les modules de haut niveau ne doivent pas dépendre de modules de bas niveau. Tous deux doivent dépendre d'abstractions.* B. *Les abstractions ne doivent pas dépendre de détails. Les détails doivent dépendre d'abstractions.*

Pour pouvoir réutiliser les modules de haut niveau indépendamment de ceux de bas niveau nous utilisons ce principe. C'est le pourquoi dans la conception logicielle de *VirtualSolAq3*, suivant ce principe d'inversion de dépendance : la relation de dépendance doit être inversée : *les modules de bas niveau doivent se conformer à des interfaces définies et utilisées par les modules de haut niveau.*

Nous avons aussi utilisé le *principe d'abstraction* pour garantir le principe d'inversion de dépendances.

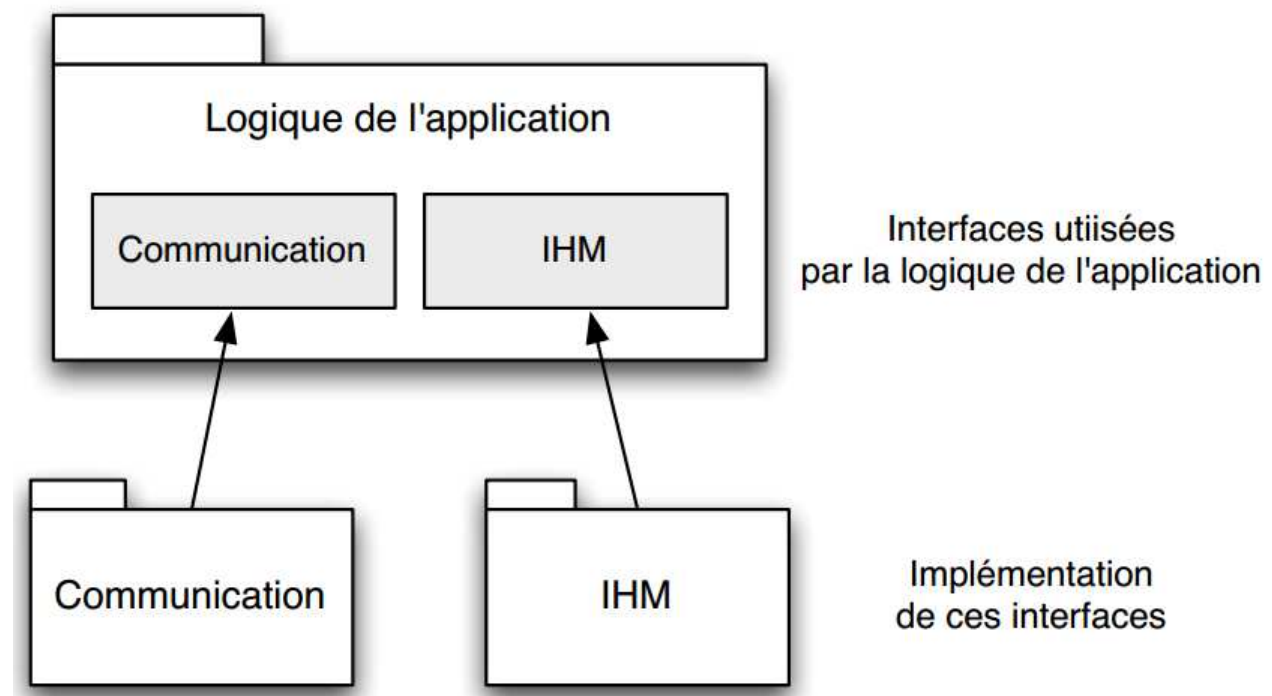


Figure 1: Illustration du principe d'inversion de dépendances

dances.

Principe de séparation des interfaces Interface Segregation Principle (ISP)

Ce principe stipule que : «*Les clients ne doivent pas être forcés de dépendre d'interfaces qu'ils n'utilisent pas.*»

En d'autres termes : le principe de séparation des interfaces stipule que chaque client ne doit «voir» que les services qu'il utilise réellement. C'est le pourquoi dans *VirtualSolAq3*, la technique de nous permet de garantir ce *principe d'héritage*.

Ainsi, suivant les principes de *Gestion des évolutions et des dépendances entre classes* (OCP, LSP, DIP et ISP), dans *VirtualSolAq3* nous :

- Isolons les parties génériques/réutilisables de l'application en les faisant reposer uniquement sur des classes d'interface ;

- Considérons l'héritage comme une implémentation d'interface, la classe dérivée pouvant se «brancher» dans n'importe quel code qui utilise cette interface (l'interface forme alors un contrat entre le code utilisateur et les classes dérivées) ;
- Utilisons des classes d'interfaces pour créer des pare-feu contre la propagation des changements ;
- Construisons les parties «*techniques*» de l'application sur les parties «*fonctionnelles*», et non l'inverse ;
- Utilisons l'héritage multiple pour décomposer les interfaces complexes en interfaces simples correspondant chacune à un service spécifique. Une classe donnée peut ensuite proposer plusieurs services simultanément en implémentant les interfaces correspondantes.

Gestion de la stabilité de l'application

Principe des dépendances acycliques Acyclic Dependencies Principle (ADP)

Ce principe stipule que : *les dépendances entre packages doivent former un graphe acyclique.*

Le but de la décomposition en packages est de *temporiser la propagation des éventuels changements dans VirtualSolAq3* : les changements d'une classe impactent immédiatement les autres classes du package considéré, mais elles n'impactent les packages qui en dépendent que lorsqu'une nouvelle version du package est livrée. Illustrons ce principe de conception par la figure ci-dessous : Les

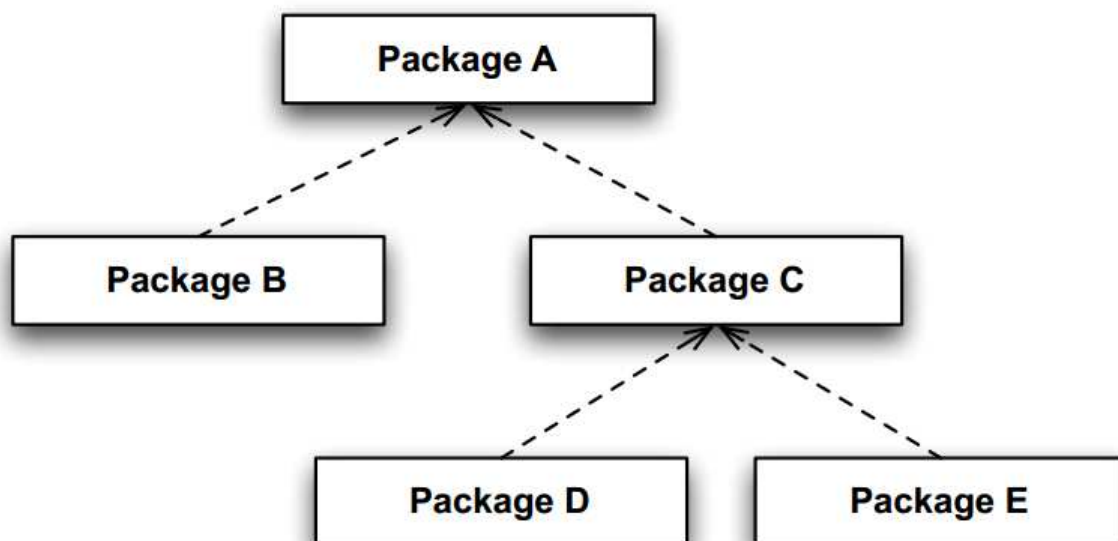


Figure 2: Illustration du principe des dépendances acycliques

modifications d'une classe de A n'est propagée aux packages B et C que lorsque ceux-ci décident d'utiliser une nouvelle version de A, et aux packages D et E que lorsque ceux-ci décident d'utiliser une nouvelle version de C. Ainsi, les packages introduisent donc des *points de synchronisation* des changements dans *VirtualSolAq3*. La propagation des changements étant guidée par les dépendances

entre packages, l'organisation de ces dépendances forme un élément fondamental de l'architecture de *VirtualSolAq3*. En effet : si les dépendances entre packages doivent former un graphe cyclique, nous avons une illustration de la sorte :

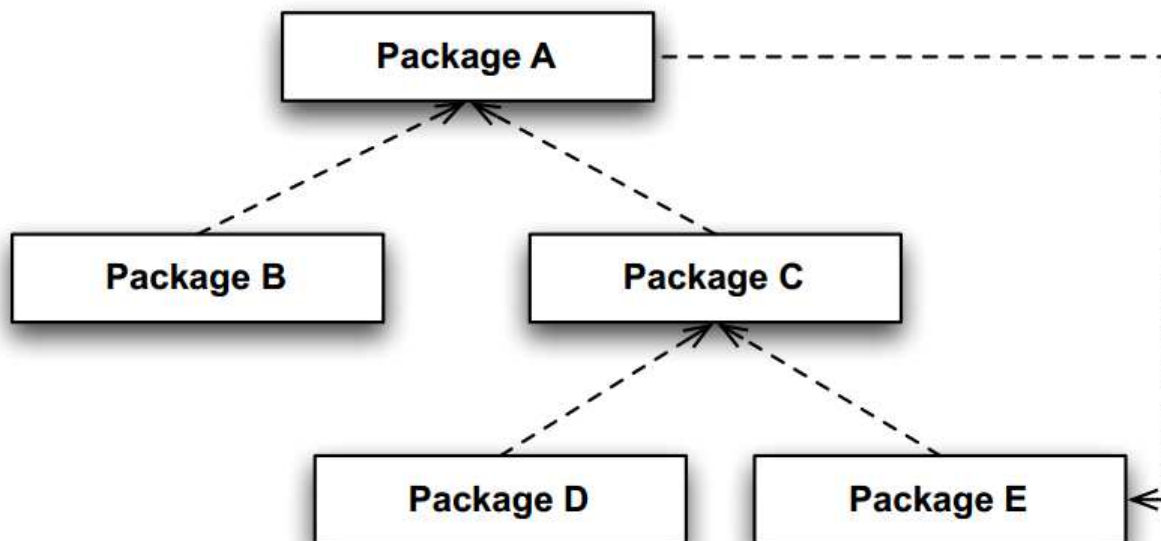


Figure 3: Illustration du non-respect du principe des dépendances acycliques

- Pour compiler le package A, il faut utiliser une version de E qui s'appuie sur la version courante de A : A et E doivent donc être compilés en même temps. Le même raisonnement s'applique à C. Résultat : il faut compiler et livrer A, C et E en même temps.
- Le package D utilise le package C, et de proche en proche les packages A et E.
- Les packages A, C et E peuvent donc être considérés comme un seul et même package.

Pour tirer parti de l'effet de temporisation de la décomposition en packages, il faut donc éviter tout cycle dans le graphe de dépendances.

Principe de relation dépendance/stabilité Stable Dependencies Principle (SDP)

Ce principe stipule qu' : *un package doit dépendre uniquement de packages plus stables que lui*. Cela permet de limiter l'impact des changements les plus fréquents, et *maximise donc la stabilité globale de l'application*.

Principe de stabilité des abstractions Stable Abstractions Principle (SAP)

Ce principe stipule que : les packages les plus stables doivent être les plus abstraits. Les packages instables doivent être concrets. Le degré d'abstraction d'un package doit correspondre à son degré de stabilité. Le Principe d'Ouverture/Fermeture (OCP) a permis de montrer le rôle des classes d'interface dans la stabilisation de certaines parties de l'application. Les parties ainsi stabilisées et leurs interfaces forment les packages les plus stables, mais également les plus abstraits. Les autres

packages contiennent les implémentations de ces interfaces, et donc principalement des classes concrètes. En pratique, et selon le Principe d’Inversion des Dépendances (DIP), ces packages stables portent la logique fonctionnelle de l’application. Ils forment un framework métier qui constitue le squelette de l’application.

Ainsi, suivant les principes de *Gestion de la stabilité de l’application* (ADP, SDP, et SAP), dans *VirtualSolAq3*, nous :

- Organisons les modules en un *arbre de dépendances* (en supprimant donc tout cycle dans le graphe des dépendances),
- Plaçons les packages les plus stables à la base de l’arbre,
- Plaçons les *interfaces dans les packages les plus stables*.

Organisation de l’application en modules

Principe d’équivalence livraison/ réutilisation Reuse/Release Equivalence Principle (REP)

La granularité en termes de réutilisation est le package. *Seuls des packages livrés sont susceptibles d’être réutilisés*.

Principe de réutilisation commune Common Reuse Principle (CRP)

Ce principe stipule que : *réutiliser une classe d’un package, c’est réutiliser le package entier*.

C’est ainsi que dans *VirtualSolAq3*, les packages sont constitués de classes susceptibles d’être réutilisées ensemble. En effet :

- Si plusieurs classes doivent être réutilisées ensemble, il est plus simple de les intégrer au même package. L’utilisateur n’aura en effet à tirer qu’une seule librairie.
- À l’inverse, en termes de dépendances, réutiliser une classe d’une librairie force à dépendre de toute la librairie. Si l’on place deux classes totalement indépendantes dans un même package, on oblige les utilisateurs d’une classe à dépendre de l’autre classe alors que c’est inutile.

Principe de fermeture commune Common Closure Principle (CCP)

Ce principe stipule que : *les classes impactées par les mêmes changements doivent être placées dans un même package*.

Au cours de la conception logicielle de *VirtualSolAq3*, nous avons vu le principe d’Ouverture/Fermeture que la fermeture complète de *VirtualSolAq3* était impossible de point de vue formel (choix stratégique basé sur l’expérience pour les endroits à ouvrir/fermer). Ceci implique qu’il reste obligatoirement dans l’application des endroits impactés par les changements. Pour réduire l’impact de ces changements et donc réduire les coûts d’évolution et de maintenance, nous avons donc utilisé le principe de CCP qui stipule simplement qu’il faut regrouper dans un même package l’ensemble des classes impactées par un même changement.

Ainsi, suivant les principes de *Gestion de la stabilité de l’application* (REP, CRP, et CCP), dans *VirtualSolAq3*, nous :

- Décomposons l'application en packages pour gérer correctement les versions et permettre une réelle réutilisation,
- Regroupons dans un même package les classes qui sont utilisées ensemble et qui sont impactées par les mêmes changements.

C'est ainsi qu'avec ces principes de conception, dans la conception de *VirtualSolAq3*, nous avons placé le contrôle des dépendances au cœur de notre activité de conception. Ceci, dans le but de limiter le *coût des modifications* et ainsi atteindre les *objectifs recherchés d'extensibilité, de robustesse et de ré utilisabilité*. Ce contrôle repose sur une utilisation efficace des *interfaces*, et des *dépendances acycliques* : qu'il s'agisse d'interfaces entre applications, entre packages ou entre classes.

Toutefois, remarquons que ces principes restent bien sûr uniquement des principes : ils ne sont pas investis d'un caractère alchimique à apportent pas de recettes miraculeuses ou des résultats quasiment automatiques ! Ils constituent par contre un *solide cadre de décision et d'évaluation* (règles strictes), qui permet d'aboutir à des logiciels *plus facilement extensibles, plus robustes, plus simples et anticipations au changement*, voire «*plus élégants*».

**◆ Annexes B : Fiche questionnaire des
Enseignants, des élèves ◆**

Fiche questionnaire des Enseignants et fiche questionnaire des Elèves

FICHE QUESTIONNAIRE DES ELEVES

1. Quel est votre âge ?

- a. Moins de 14 ans
- b. Entre 14 et 16 ans
- c. Entre 16 et 20 ans

2. Pour vous quel est le chapitre qui vous semble le plus compliqué en chimie ?

.....

3. Pensez-vous que des travaux-pratiques peuvent vous aider à mieux appréhender ce chapitre ?

- a. Oui je pense
- b. Peut être
- c. Non je ne pense pas

4. Que pensez-vous du chapitre sur les solutions aqueuses ?

- a. Très Facile
- b. Facile
- c. Difficile

5. Est-ce que vous vous exercez suffisamment avec vos livres au programme ?

- a. Non pas vraiment
- b. Oui
- c. Jamais

6. Savez-vous utiliser un ordinateur ?

- a. Oui
- b. Non

7. Avez-vous un livre de PCT au programme ?

- a. Oui
- b. Non

8. Pensez-vous que des cas pratiques sur ordinateur peuvent vous aider à mieux appréhender ce chapitre-là ?

- a. Oui je le pense
- b. Non Je ne le pense pas
- c. Peut-être

9. Selon vous, comment peut-on améliorer l'apprentissage de la leçon portant sur les solutions aqueuses ?

- a. A travers les TP dans le laboratoire de chimie
- b. A travers des simulations sur ordinateur
- c. Changer les heures de cours
- d. Autres

10. Quels concepts ou notions de la leçon sur les solutions aqueuses vous pose le plus de problèmes ?

- a. Ecriture des équations de mise en solution
- b. Equilibre des équations de mise en solution
- c. Interprétation des équations
- d. Calcul des concentrations (massique, molaire)

FICHE QUESTIONNAIRE DES ENSEIGNANTS

1. Quelle leçon de chimie de la classe de 3^{ème} vous semble la plus compliquée à enseigner ?
2. Quelles sont les réactions de vos élèves lors de l'enseignement du cours portant sur les solutions aqueuses ?
 - a. Très actif
 - b. Actif
 - c. Désintéressé
 - d. Très désintéressé
3. A votre avis quelles-en sont les raisons ?
 - a. Absence de laboratoire
 - b. Pas de cours de Travaux pratique
 - c. Manque de matériel didactique
 - d. Autre.....
.....
4. Que pensez-vous de l'utilisation des TIC dans l'enseignement?.....
.....
5. Pensez-vous que les TIC peuvent vous aider à améliorer l'enseignement du cours portant sur les solutions aqueuses ?
 - a. Oui je le pense
 - b. Peut-être
 - c. Non pas du tout
6. Quelles difficultés rencontrez-vous lorsque vous dispensez ce cours ?.....
.....

7. Quelles sont les difficultés rencontrées par les élèves lorsque vous dispensez ce cours ?
.....
.....
8. Quels sont les objectifs en termes de savoirs concernant les solutions aqueuses ?
.....
.....
.....
9. Quels sont les objectifs en termes de savoirs faire concernant les solutions aqueuses ?
.....
.....
.....
10. Quelles sont les activités expérimentales concernant les solutions aqueuses ?
.....
.....
11. Pouvez-vous nous proposer quelques activités de prolongement relatives aux solutions aqueuses
.....
.....

