



UNIVERSITÉ DE BORDEAUX

COMMUNICATION ET CONCEPTION D'UN PROJET DE
RECHERCHE ET/OU DÉVELOPPEMENT

Cahier des charges

Arnaud FRÈCHE
Charlotte HÉRICÉ
Sarai MOLA
Typhaine PAYSAN-LAFOSSE
Joris SENSEN

Mme. Marie
BEURTON-AIMAR

Table des matières

Introduction	2
1 Contexte	3
1.1 Sujet	3
1.2 Objectif	3
2 État de l'existant	4
2.1 Efmtree	4
2.2 <i>RegEfmtree</i>	4
2.3 METATOOL	4
2.4 CellNetAnalyzer	5
2.5 Yana	5
2.6 Acom	6
2.7 JACoMode	6
2.8 Langages	6
3 Besoins fonctionnels et non fonctionnels	7
3.1 Besoins fonctionnels	7
3.1.1 Interface Homme Machine (IHM)	7
3.1.2 Chargement des données	7
3.1.3 Réglage des paramètres	7
3.1.4 Résultats	7
3.1.5 Aide en ligne	7
3.1.6 Maquette de l'interface	8
3.2 Besoins non fonctionnels	11
3.2.1 Portabilité	11
3.2.2 Sécurité et robustesse	11
3.2.3 Temps de calcul	12
3.2.4 Documentations	12
3.2.5 Dates	12
4 Choix et justifications	13
4.1 Langages	13
4.2 Accessibilité	13
4.3 Base de données	13
Bibliographie	13

Introduction

Le métabolisme correspond à l'ensemble des processus complexes et incessants de transformation de matière et d'énergie par la cellule ou l'organisme, au cours des phénomènes d'édification et de dégradation organiques (anabolisme et catabolisme). Ces molécules, appelées aussi métabolites, et les réactions dans lesquelles ils interviennent forment des réseaux métaboliques.

Analyser les réseaux métaboliques peut parfois s'avérer complexe étant donnée l'importance de la taille de certains. L'outil bioinformatique devient donc vite indispensable dans le traitement de telles données.

Le but de notre projet sera donc de mettre en place une interface graphique pour le logiciel *regEfmtree* [1], qui est un outil de calcul des modes élémentaires de flux. Un mode élémentaire est un chemin métabolique au sein d'un réseau, c'est à dire un jeu de réactions uniques pour lequel, à l'état stationnaire, le flux global à travers le processus est nul.

La création de cette interface aura pour but de rendre l'utilisation de *regEfmtree* plus conviviale et de faire en sorte que les résultats générés soient visuellement interprétables.

1.1 Sujet

Le métabolisme d'une cellule est un système complexe de transformations moléculaires et énergétiques qui se déroulent de manière ininterrompue dans la cellule et mettant en jeu un ensemble de réactions dites métaboliques. Ces réactions impliquent différents types de métabolites qui, suivant leurs positions dans la réaction, sont appelés substrats ou produits et catalysés par des enzymes.

La représentation visuelle des grandes fonctions métaboliques (glycolyse, photosynthèse ...) sous la forme de réseaux pourrait être un outil précieux pour faciliter l'avancement des travaux des chercheurs. Cette modélisation de réactions permet de réaliser des requêtes complexes comme, par exemple, le calcul (et la prédiction) de tous les métabolites pouvant être générés à partir d'un ensemble de composés sources.

Quelques logiciels disponibles internationalement permettent de travailler et d'automatiser l'étude de ces réseaux, tout en proposant des fonctionnalités telles que le calcul des modes élémentaires de flux ou la recherche de *minimal cut sets*¹. Cependant, ils peuvent être dépendants de logiciels non libres comme MATLAB ou alors ne pas avoir d'interface utilisateur conviviale, ce qui est le cas avec *regEfmtool* (logiciel sur lequel nous nous appuyerons pour ce projet).

1.2 Objectif

Dans le cadre de cette U.E., il nous est demandé de créer un programme (package et documentation à fournir à la fin du projet) nous permettant d'approfondir ou d'apprendre un langage de programmation, et de réaliser une analyse critique du travail effectué. L'objectif de ce projet sera donc de réaliser une interface graphique du programme *regEfmtool* qui ne peut être utilisé, à l'heure actuelle, que par des commandes à l'aide d'une console.

Afin de réaliser cette interface graphique, nous nous appuyerons sur les technologies Web. En effet, beaucoup de programmes utilisent une interface de type site Web leur permettant d'une part de créer une interface graphique conviviale (à partir du langage HTML², feuilles de style (CSS³), etc), tout en permettant une certaine modularité (possible grâce au langage JavaScript et PHP⁴).

1. Un *minimal cut sets* [?] (MCS) est un ensemble minimal (irréductible) de réactions dans le réseau dont l'activation va certainement conduire à une défaillance de certaines fonctions du réseau.

2. HTML : Hypertext Markup Language.

3. Cascading Style Sheets.

4. PHP : Hypertext Preprocessor.

2.1 Efmtool

Efmtool [2] calcule les modes élémentaires de flux de réseaux métaboliques. Il est implémenté en Java et a été intégré à MATLAB.

Il a été développé par Marco Terzer. La version courante est la 4.7.1 (Décembre 2009).

2.2 *RegEfmtool*

RegEfmtool [3] est un outil informatique qui combine le calcul des modes élémentaires de flux et la régulation transcriptionnelle du réseau métabolique. Il a été développé, entre autres, par Christian Jungreuthmayer. Il a été créé afin d'accélérer le calcul de jeux complets de modes élémentaires de flux d'un réseau métabolique.

RegEfmtool est une extension d'Efmtool qui prend en compte la régulation transcriptionnelle des réseaux pour le calcul des modes élémentaires de flux.

La prise en compte de la régulation des gènes réduit de façon importante le nombre de solutions et permet d'éliminer constamment les modes qui ne peuvent exister biologiquement pendant et après le processus de calcul. Elle permet aussi de réduire considérablement le coût du calcul.

L'installation et l'utilisation de *regEfmtool* a été exclusivement testée sous Linux. Elle pourrait cependant fonctionner sous d'autres systèmes d'exploitation puisqu'il s'agit d'un programme Java. Il n'existe pas d'interface graphique de cette application, elle s'exécute donc en lignes de commandes via le terminal. La version courante de *RegEfmtool* est la 2.0 (Août 2012).

2.3 METATOOL

METATOOL [4] est un programme écrit en C développé de 1998 à 2000 par Thomas Pfeiffer (Berlin) en coopération avec Juan Carlos Nuno (Madrid), Stefan Schuster (Berlin) et Ferdinand Moldenhauer (Berlin).

Il sert à étudier la structure des réseaux métaboliques à partir d'équations de réactions stoechiométriques et permet notamment de calculer les modes élémentaires.

Les premières versions de METATOOL (jusqu'à la 4.9) ont été développées en C. Aujourd'hui, nous trouvons aussi une version de METATOOL en C++ mais cette version n'est pas au point. La dernière version, 4.9, est assez performante sur les petits réseaux métaboliques, mais possède de gros problèmes de gestion de mémoire et de rapidité lors de calculs sur de grands réseaux. Dans la version actuelle (5.1) l'exécutable est désormais un module de MATLAB 7 et GNU 3.0 Octave, il se présente sous la forme d'un ensemble

de fichiers scripts de MATLAB.

Les paramètres donnés en entrée pour le bon fonctionnement du logiciel METATOOL sont les suivants :

1. la liste des réactions réversibles, ainsi que celle des réactions irréversibles, avec le nom des réactions,
2. la liste des métabolites internes et externes impliqués dans les réactions,
3. les équations réactionnelles se trouvant dans la section.

Le tout est rassemblé dans un fichier avec l'extension *.dat*

A la fin de son exécution, METATOOL a généré un fichier avec l'extension *.out* dans lequel se trouvent les résultats. Dans les versions de METATOOL écrites en C, le fichier de sortie contient l'ensemble des résultats sous forme de matrices, ainsi que des bilans qui permettent de décrire le réseau d'étude.

Les versions de METATOOL écrites en MATLAB produisent des résultats similaires en terme de calcul des matrices des modes élémentaires mais les résultats sont disposés différemment dans le fichier de sortie.

2.4 CellNetAnalyzer

CellNetAnalyzer [5] est un package de MATLAB (écrit en C) qui fournit un environnement compréhensible et convivial pour l'utilisateur et qui permet une analyse fonctionnelle et structurale de réseaux biochimiques. Il a été développé à l'institut Max Planck de Magdeburg par Steffen Klamt (depuis 2000) et Axel von Kamp (depuis 2007) notamment. CellNetAnalyzer fournit une importante collection d'outils et d'algorithmes pour l'analyse structurale de réseaux.

C'est un programme gratuit pour une utilisation académique. Pour l'exécuter, il faut avoir installé MATLAB 7.0 ou une version ultérieure qui demande une licence. Il peut être utilisé sur Linux, Windows XP ou Mac.

Pour l'étude des modes élémentaires, CellNetAnalyzer fait appel à METATOOL via le logiciel MEX qui sert d'interface. MEX permet à MATLAB d'appeler tout logiciel C externe pour compléter les outils qu'il possède.

2.5 Yana

YANA [6] est un logiciel libre, écrit en JAVA, utilisant METATOOL pour l'étude des voies métaboliques. Il contient le logiciel METATOOL dans sa structure interne.

YANA [7] sert de façade et de sortie à METATOOL 6 tout en implémentant d'autres fonctions d'analyses du métabolisme (ex : quantification de l'activité enzymatique des réactions).

YANA s'occupe de l'entrée des données vers METATOOL puis il effectue une analyse syntaxique du fichier *.out* pour afficher les résultats sur une interface graphique et effectuer des analyses complémentaires sur ceux-ci.

2.6 Acom

ACoM [8] fonctionne à partir des fichiers de sortie de METATOOL. Il permet une classification automatique des modes élémentaires en fonction d'une taille minimale et d'un seuil de similarité. Il est surtout utilisé pour l'analyse des réseaux de grandes tailles où la manipulation des données à la main est laborieuse. ACoM est un programme C utilisable uniquement en mode console.

2.7 JACoMode

JACoMode est une interface Web permettant le lancement d'ACoM via le Web. En plus d'obtenir les résultats d'ACoM, JACoMode traite ces résultats pour obtenir d'autres résultats statistiques sur les modes élémentaires.

2.8 Langages

Notre projet nécessite l'utilisation d'une interface Web, dans ce cadre il existe :

- Mod Perl combiné avec Apache¹ et CGI² mais la technologie utilisée est à l'heure actuelle dépassée
- Mod Python combiné avec Apache et CGI mais même remarque que précédemment
- CL-WHO avec Hunchentoot³ et ParenScript offre un bon environnement pour le développement Web
- Java et ses applets⁴ apparaissent également comme un bon choix pour le développement Web
- PHP couplé avec du JavaScript peut être un choix judicieux pour une application Web

Parmi les différents choix précédemment cités, deux sortent du lot : Java et PHP avec leurs bibliothèques.

1. Apache HTTP Server

2. CGI : Common Gateway Interface.

3. Hunchentoot HTTP Server

4. Applet Java : logiciel s'exécutant dans la fenêtre d'un navigateur Web (grâce à une machine virtuelle Java (JVM)), fournie aux utilisateurs sous la forme de bytecode Java.

Besoins fonctionnels et non fonctionnels

3.1 Besoins fonctionnels

3.1.1 Interface Homme Machine (IHM)

L'interface Web que nous allons réaliser devra permettre de charger la description d'un réseau pré-existant ou d'en créer un nouveau, mais également de modifier les descriptions de ce dernier.

Elle donnera également le moyen à l'utilisateur de saisir les fonctions et options qui l'intéressent puis de lancer les calculs des modes élémentaires de flux du réseau d'intérêt. De plus, un script récurrent de commandes pourra être enregistré et chargé par la suite.

3.1.2 Chargement des données

Une zone de chargement de fichiers (de différents formats) à partir du disque dur de l'utilisateur sera présente sur l'interface.

Selon le type du fichier donné en paramètre d'entrée, une liste de choix possibles pourra être proposée. Ainsi les résultats d'expériences similaires (suppression, modification des réactifs, produits ou enzymes du réseau) devront pouvoir être comparés avec un affichage en vis-à-vis, ce qui implique une sauvegarde temporaire des résultats sur le serveur.

3.1.3 Réglage des paramètres

Il sera possible pour un utilisateur confirmé ou habitué à l'interface d'avoir accès à un mode de réglage avancé des paramètres, s'il le désire. Ces derniers seront fixés à des valeurs par défaut pour les débutants.

3.1.4 Résultats

Enfin, la visualisation des résultats devra apparaître de façon claire et conviviale à l'utilisateur au travers de l'interface Web. De plus, les résultats pourront être exportés dans un fichier pour une analyse ultérieure. Par ailleurs, nous allons essayer de mettre en place un dispositif d'annotations des fichiers.

3.1.5 Aide en ligne

Un message d'aide apparaîtra au survol du curseur de la souris sur la fonction ou l'option choisie. Ainsi l'utilisateur pourra avoir plus d'informations sur la commande concernée.

3.1.6 Maquette de l'interface

Nous avons réalisé une série de maquettes pour avoir une idée du genre d'interface Web que nous voudrions. Elles ont été réalisées avec le logiciel XXXX et permettent de mieux illustrer le rendu final de notre projet.

Page d'accueil

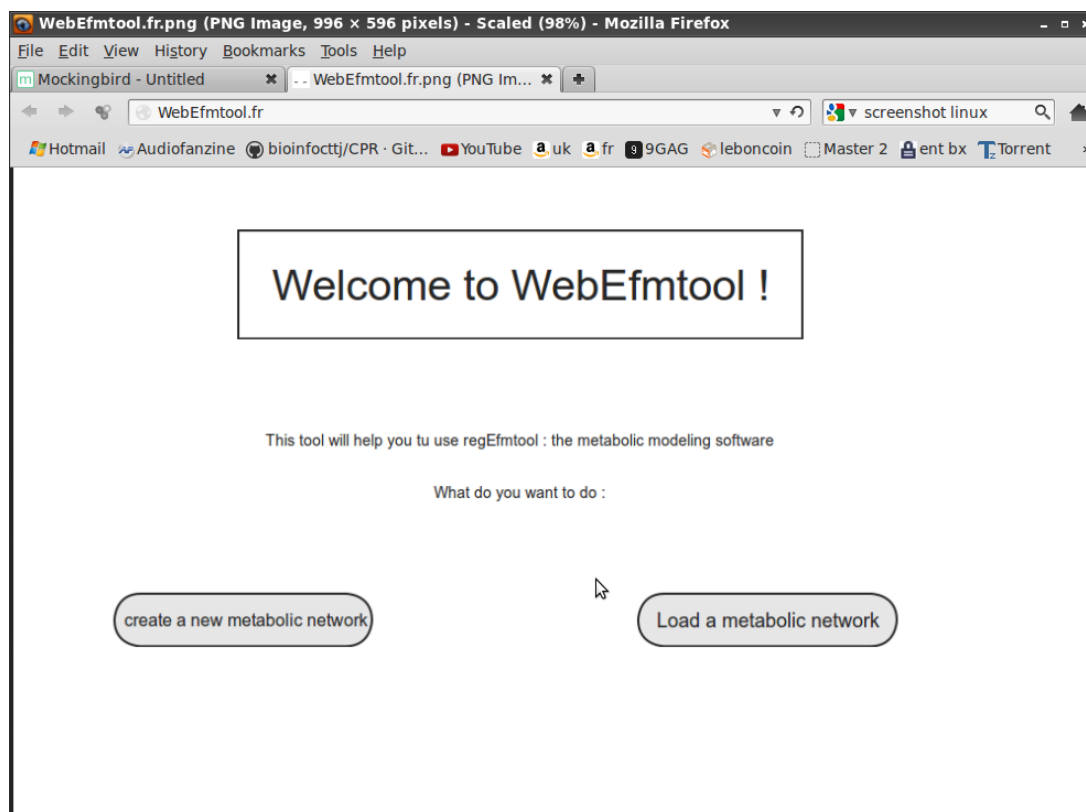


FIGURE 3.1 – Page Accueil

Le logiciel *regEfmttool* étant en anglais, nous avons choisi d'utiliser cette même langue pour notre interface. De plus, cela permettra son utilisation par un plus grand nombre d'utilisateurs.

Lors de l'affichage de la page d'accueil (Figure 3.1), l'utilisateur aura le choix entre créer un réseau métabolique manuellement, ou bien le charger à partir de fichiers préexistant.

Création d'un nouveau réseau

The screenshot shows a web browser window with the title 'create_net.png (PNG Image, 994 x 695 pixels) - Scaled (84%) - Iceweasel'. The address bar shows the file path 'file:///autofs/netapp/account/cremi/arfreche/create_net.png'. The main content area has the heading 'Create network'. Below the heading, there is a 'network name' input field. To the left of the 'List of enzymes' table is the label 'List of metabolites :'. The 'List of metabolites' table has 6 rows and 3 columns: a text input field, a 'V' checkbox, and an 'X' checkbox. The 'List of enzymes' table has 4 rows and 3 columns: a text input field, a 'V' checkbox, and an 'X' checkbox. Below the 'List of enzymes' table is the label 'Reactions names :'. The 'Reactions names' table has 4 rows and 3 columns: a text input field, a 'V' checkbox, and an 'X' checkbox. A magnifying glass icon is located below the 'Reactions names' table.

FIGURE 3.2 – Entrée des composants du réseau

Si l'utilisateur clique sur le bouton de création d'un nouveau réseau métabolique (Figure 3.2), une première page Web s'affichera. Il devra rentrer les noms de tous les métabolites et enzymes participant aux réactions, ainsi que le celui du réseau. Il aura la possibilité de valider ou supprimer chaque métabolite et enzymes. Dans le cas d'une validation, les données seront récupérées afin de générer automatiquement les fichiers nécessaires au fonctionnement du logiciel.

The screenshot shows a web browser window with the title 'create reaction.png (PNG Image, 996 x 752 pixels) - Icedweasel'. The address bar shows the file path 'file:///autofs/netapp/account/cremi/arfreche/create reaction.png'. The browser has several tabs open, including 'Mockingbird - Untitled' and 'create_net.png (PNG Image, 99...'. The main content area displays the 'Create Reactions' form.

Create Reactions

Reaction name :

Lists of reagents and stoichiometry	Lists of enzymes	Lists of products and stoichiometry	Reversibility
<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>reagent 1 <input type="button" value="↓"/></div> <div><input type="text" value="1.5744"/></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>reagent 2 <input type="button" value="↓"/></div> <div><input type="text" value="2.45"/></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>reagent 3 <input type="button" value="↓"/></div> <div><input type="text" value="0"/></div> </div> <div style="text-align: center;"><input type="button" value="Add reagent"/></div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div><input type="text"/></div> <div><input type="button" value="↓"/></div> </div>	<div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>product 1 <input type="button" value="↓"/></div> <div><input type="text" value="1.5744"/></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>product 2 <input type="button" value="↓"/></div> <div><input type="text" value="2.45"/></div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-between; align-items: center;"> <div>product 3 <input type="button" value="↓"/></div> <div><input type="text" value="0"/></div> </div> <div style="text-align: center;"><input type="button" value="Add product"/></div>	<input type="checkbox"/> Yes <input type="checkbox"/> No

FIGURE 3.3 – Création des réactions

Une fois les noms des composants du réseau métabolique entrés, l'utilisateur va devoir créer les réactions une à une (Figure 3.3). Tous d'abord, il devra s'occuper des réactifs de la réaction : un menu déroulant lui donnera le choix entre tous les métabolites qu'il a saisi précédemment et il n'aura plus qu'à entrer le coefficient stœchiométrique associé. Il en sera de même pour les enzymes (sans le coefficient de stœchiométrie dans ce cas), les produits et les co-facteurs. Pour ce qui est de la réversibilité des réactions, il suffira de cocher la bonne case. L'utilisateur pourra ensuite ajouter une réaction ou valider son réseau.

Chargement d'un réseau préexistant

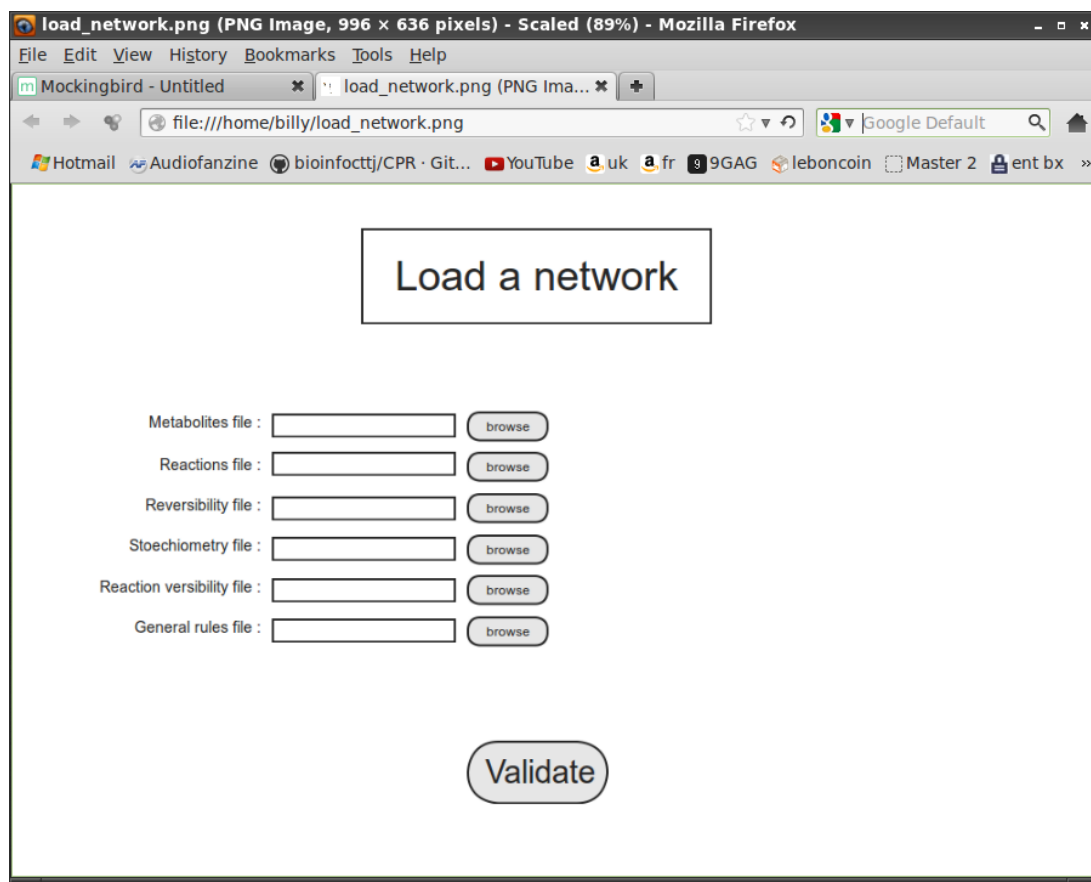


FIGURE 3.4 – Chargement du réseau

Si l'utilisateur clique sur le bouton de chargement d'un réseau depuis la page d'accueil, il devra charger une série de fichiers (depuis le disque dur de son ordinateur) nécessaires au bon fonctionnement de *regEfmtool*. Les fichiers doivent être dans le format adéquat et un message d'erreur apparaîtra si ce n'est pas le cas. Au cas où, une fonction d'aide sera disponible pour avoir un modèle de fichiers à charger.

3.2 Besoins non fonctionnels

3.2.1 Portabilité

L'utilisation de *regEfmtool* s'appuie sur d'autres logiciels, nécessitant par exemple la version 1.7 de Java. De ce fait, ils devront être libre d'utilisation pour le secteur académique. L'interface devra être livrée avec tous les fichiers de configuration (préexistants ou nouvellement créés) et indépendante du système d'exploitation.

3.2.2 Sécurité et robustesse

Il faudra gérer l'espace occupé par les fichiers chargés sur le serveur. Le site devra être stable et gérer au mieux les erreurs qui pourraient être générées lors du chargement des fichiers, de la modification des paramètres ou des calculs. L'utilisateur sera donc informé en

cas d'erreur lors du chargement d'un fichier non compatible avec *regEfmttool*, contenant des erreurs d'écritures ou lorsque les paramètres entrés ne sont pas en accords avec la fonction ou l'option sélectionnée.

3.2.3 Temps de calcul

Il faudra effectuer une vérification du nombre de métabolites et de réactions afin d'estimer le temps de calcul. Si ce dernier s'avère trop long, l'utilisateur sera prévenu et devra confirmer le lancement du processus.

3.2.4 Documentations

L'écriture du code sera constituée de commentaires qui permettront la maintenance du code ainsi qu'une éventuelle amélioration de ce dernier par un tiers. L'interface Web créée, quand à elle, devra être fournie avec une documentation sur son installation, son utilisation, sa maintenance et une charte graphique déclarant les différents attributs du site (couleurs utilisées, police, logo, image,...).

3.2.5 Dates

Début du projet mi-octobre 2012.
Remise du cahier des charges et présentation du sujet le 28 novembre 2012.
Mi-décembre 2012 : point sur l'avancement du projet.
Rendez-vous pour l'avancement du code en janvier 2013.
Remise du projet mi-février 2013.

Choix et justifications

4.1 Langages

Le choix de langages impératifs orientés Web pour cette interface a été effectué pour des raisons personnelles et par pertinence quand au projet demandé.

De plus, le choix de logiciels Web pour la création de l'interface de *regEfmtree* a été effectué dans le but d'apprendre de nouveaux langages (pour la majorité des personnes composant ce groupe de projet).

4.2 Accessibilité

Pour permettre un accès facile à notre programme depuis n'importe quel ordinateur, indépendamment du système d'exploitation et de l'endroit, nous avons décidé de développer notre projet sous la forme d'une application Web. En effet, une connection à la page Web du site suffira pour avoir accès à toute ses fonctionnalités. *RegEfmtree* est installé et exécuté sur une machine *UNIX*, qui est reliée à d'autres machines sur un réseau local (ou sur internet). De ce fait, n'importe quelle autre machine peut avoir accès au logiciel via son navigateur internet.

Cela permet notamment à des machines, même peu puissantes, de pouvoir effectuer des simulations conséquentes si le logiciel est installé sur un serveur ou un ordinateur performant.

Dans le cas d'une installation sur une machine non reliée à un réseau de partage de *regEfmtree* l'exécution est néanmoins possible.

4.3 Base de données

Nous allons utiliser la base de données du KEGG afin de permettre une visualisation des réseaux métaboliques. C'est un moyen plus convivial d'observation des résultats qu'une simple liste de réactions et qu'une série de matrices.

Bibliographie

- [1] <http://www.biotec.boku.ac.at/regulatoryelementaryfluxmode.html>.
- [2] <http://www.csb.ethz.ch/tools/efmtool>.
- [3] David E. Ruckerbauer Christian Jungreuthmayer and Jürgen Zanghellini. Utilizing gene regulatory information to speed up the calculation of elementary flux modes.
- [4] Axel von Kamp and Stefan Schuster. Metatool 5.0 : fast and flexible elementary modes analysis.
- [5] <http://www.mpi-magdeburg.mpg.de/projects/cna/cna.html>.
- [6] Axel von Kamp Bernd Engels Heiner Schirmer Stefan Schuster Roland Schwarz, Patrick Musch and Thomas Dandekar. Yana – a software tool for analyzing flux modes, gene-expression and enzyme activities.
- [7] <http://yana.bioapps.biozentrum.uni-wuerzburg.de/>.
- [8] M. Beurton-Aimar S. Pérès, F. Vallée and J.P. Mazat. Acom : A classification method for elementaryfluxmodes based on motif finding.