



HAL
open science

Projet ANR MORE: Documentation développeur sur l'estimation de la consommation énergétique

Jonathan Ponroy, Olivier Zendra

► **To cite this version:**

Jonathan Ponroy, Olivier Zendra. Projet ANR MORE: Documentation développeur sur l'estimation de la consommation énergétique. [Rapport Technique] RT-0397, INRIA. 2010, pp.32. inria-00529677v2

HAL Id: inria-00529677

<https://inria.hal.science/inria-00529677v2>

Submitted on 26 Nov 2010

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.



INSTITUT NATIONAL DE RECHERCHE EN INFORMATIQUE ET EN AUTOMATIQUE

***Projet ANR MORE : Documentation développeur sur
l'estimation de la consommation énergétique***

Jonathan Ponroy, Olivier Zendra

N° 0397

Octobre 2010

Embedded System Code Optimization

A solid blue vertical bar is positioned on the right side of the page, partially overlapping the 'Rapport technique' text.

R *apport
technique*

ANR MORE project: Technical documentation on energy consumption estimation

Jonathan Ponroy¹, Olivier Zendra²

Thème Optimisations Multi Critère de code
Projet MORE

Rapport technique n° 0397 – Octobre 2010 - 31 pages

Abstract: The MORE (Multicriteria Optimizations for Real-time Embedded systems) project is aimed at developing a platform allowing iterative code optimization according to three simultaneous criteria: code size, energy consumption caused by memory accesses and worst case execution time. This project is based on the Ottawa software platform from IRIT laboratory. This report, after briefly describing the MORE project, details the implementation work performed at INRIA Nancy Grand Est, which pertains to energy consumption estimation and memory optimization.

Keywords: optimization, embedded systems, multi-criteria, technical documentation

¹ Inria Nancy Grand Est – jonathan.ponroy@inria.fr

² Inria Nancy Grand Est – olivier.zendra@inria.fr

ANR MORE project: Technical documentation on energy consumption estimation

Résumé: Le projet MORE (Multicriteria Optimizations for Real-time Embedded systems) est un projet visant à proposer une plateforme permettant d'optimiser du code de façon itérative selon 3 critères et de façon conjointe : la taille du code, la consommation énergétique liée aux accès à la mémoire et le temps d'exécution pire cas. Ce projet repose sur la plateforme logicielle Ottawa de l'IRIT. Après avoir brièvement décrit le projet MORE, ce rapport détaille les travaux d'implantation réalisés à l'INRIA Nancy Grand Est, principalement liés à l'estimation de l'énergie et l'optimisation mémoire.

Mots clés: optimisation, système embarqués, multi-critères, documentation technique

Table des matières

1 INTRODUCTION.....	4
2 INFORMATION GÉNÉRALE.....	ERREUR ! SIGNET NON DEFINI.
3 LA PLATEFORME OTAWA	4
4 SYSTEMC	4
5 ETUDE DE L'ENERGIE	6
6 CACTI.....	7
7 BENCHMARKS ET CROSS COMPILATEUR.....	8
7.1 GENERATION DU CROSS-COMPILATEUR	8
7.2 GENERATION DES BENCHS AVEC LE CROSS-COMPILATEUR	9
8 OTAWA ET LE PROJET MORE	9
8.1 PRE REQUIS LOGICIEL	9
8.2 RECUPERER ET COMPILER OTAWA.....	10
8.3 OTAWA DANS ECLIPSE.....	12
9 FONCTIONNEMENT DU PIPELINE PROCESSEUR.....	12
9.1 QUELQUES PRECISIONS SUR CERTAINS MODULES.....	12
10 FONCTIONNEMENT DE LA MEMOIRE CACHE.....	13
10.1 DIRECT MAPPED CACHE.....	13
10.2 FULL ASSOCIATIVE CACHE	14
10.3 N-WAY SET ASSOCIATIVE CACHE	15
10.4 POLITIQUES D'ECRITURE.....	15
10.5 DIAGRAMME DE CLASSE DU CACHE MODELISE	15
10.6 GENERICSTATE ET MEMORYSYSTEM	16
11 IMPLEMENTATION DU CALCUL DE L'ENERGIE	17
11.1 IMPLEMENTATION DE LA HIERARCHIE MEMOIRE	17
11.2 SPM ET STATISTIQUE DES DONNEES	21
11.3 CALCUL DE L'ENERGIE.....	21
12 CREATION DES DIAGRAMMES A PARTIR DES RESULTATS SOUS OPEN OFFICE	21
13 DOCUMENTATION DOXYGEN DANS OTAWA	27
14 GUIDE D'UTILISATION DE L'OUTIL DE CALCUL DE L'ENERGIE	27

1 Introduction

Ce document a pour but d'aider un développeur à acquérir les connaissances requises ainsi que les informations sur les logiciels utilisés et les développements réalisés au sein de l'INRIA Nancy Grand Est au cours du projet MORE.

2 Contexte: le projet ANR MORE

Le projet MORE (Multicriteria Optimizations for Real-time Embedded systems) (<http://www.irit.fr/recherches/ARCHI/MARCH/MORE/doku.php>) est un projet visant à proposer une plateforme permettant d'optimiser du code de façon itérative selon 3 critères et de façon conjointe.

Ces trois critères sont :

- La taille du code
- La consommation énergétique liée aux accès à la mémoire
- Le temps d'exécution pire cas WCET (Worst-case execution time)

Dans le cadre de ce projet, 3 équipes se sont associées en apportant leurs connaissances :

- L'IRIT et l'équipe TRACES (<http://www.irit.fr/recherches/ARCHI/MARCH/>) qui est spécialisée dans l'étude du WCET. Cette étude est réalisée sur leur plateforme logicielle Ottawa (www.otawa.fr) et sur laquelle les deux autres équipes insèrent leur contribution.
- Le LIP6 et l'équipe ALSOC vont apporter leurs connaissances dans la compression de code.
- Le LORIA et l'équipe TRIO vont apporter leurs connaissances dans l'étude de la consommation énergétique et la gestion mémoire.

La pierre angulaire du projet est donc la plateforme logicielle Ottawa que nous allons maintenant décrire dans ce document d'abord de façon générale puis plus avec une orientation développeur.

3 La plateforme Ottawa

Ottawa est une plateforme logicielle visant à simuler des plateformes matérielles afin de mieux pouvoir étudier leurs comportements. A l'origine, elle a été développée pour étudier le WCET mais peut être étendue pour étudier d'autres aspects comme la consommation énergétique ou la compression de code. Le site du projet www.otawa.fr donne une description plus détaillée d'Ottawa.

4 SystemC

Pour réaliser cette simulation, Ottawa repose sur un framework écrit en C++ appelé SystemC mais également sur d'autres bibliothèques. SystemC est une bibliothèque, qui fournit des classes C++ adaptées à la modélisation de matériels ainsi qu'un moteur de simulation événementiel rapide. Ainsi, on peut simuler une porte combinatoire AND à 2 entrées comme le montre la Figure 1.

```

#include "systemc.h"
SC_MODULE(and2)
{
    sc_in<bool> e1;
    sc_in<bool> e2;
    sc_out<bool> s;

    void compute_and()
    {
        s = e1 & e2;
    };

    SC_CTOR(and2)
    {
        SC_METHOD(compute_and);
        sensitive(e1);
        sensitive(e2);
    }
};

```

Figure 1 : code en SystemC d'une porte NAND

Comme précisé sur la Figure 1, Ottawa utilise des bibliothèques pour pouvoir simuler les instructions PowerPC notamment GLISS qui a permis d'écrire facilement un simulateur d'instruction ppc et sur lequel repose Ottawa. En effet, Ottawa n'exécute pas réellement les instructions mais à pour but de simuler le fonctionnement de l'environnement matériel (cache, mémoire,...) ainsi que l'aspect temporel de l'exécution (WCET).

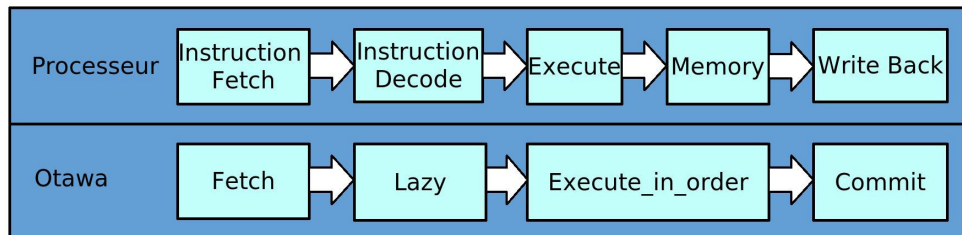


Figure 2. Pipeline d'un processeur et pipeline d'Ottawa

Sur la Figure 2, on peut voir la correspondance entre le pipeline d'instructions d'un processeur et le pipeline implémenté dans Ottawa. Ce pipeline est créé dans la fonction `GenericProcessor::build` se trouvant dans le fichier `GenericProcessor.cpp`. Cette fonction est chargée de créer les blocs ainsi que les liaisons entre eux en utilisant le framework SystemC.

La Figure 3 présente de façon plus précise les connexions entre les blocs du pipeline selon les principes du SystemC.

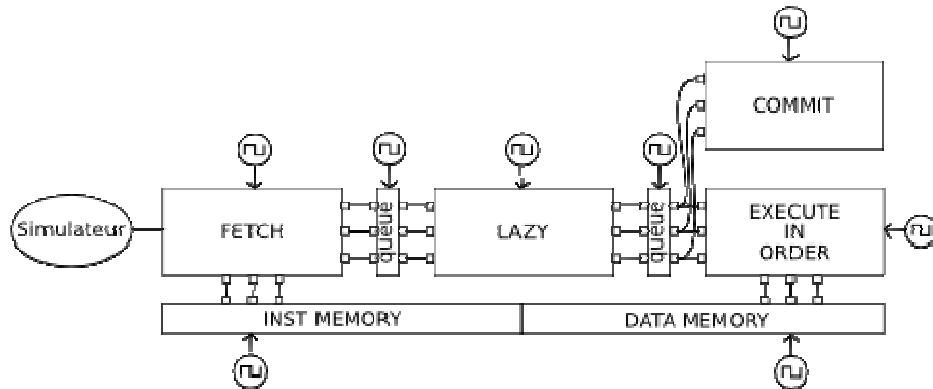


Figure 3 : Pipeline d'Otawa

Chacun des blocs est rythmé par une horloge SystemC comparable à une véritable horloge de processeur. A chaque front d'horloge, une instruction passe d'un bloc au suivant en passant par une file d'attente. Le pipeline récupère les instructions du vrai simulateur (à gauche) qui exécute réellement ces instructions.

L'implémentation de ces blocs se trouve dans le répertoire ogensim :

- FETCH dans Fetch.h/cpp
- LAZY dans LazyStage.h/cpp
- EXECUTE_IN_ORDER, EXECUTE_OUT_OF_ORDER et COMMIT dans Execute.h/cpp

Otawa permet donc au final de faire tourner du code powerPC par exemple sur une architecture donnée et de récupérer différentes informations via des fonctionnalités liées au WCET ou aux accès de données en mémoire, etc. Une liste complète des fonctionnalités est disponible dans `INSTALL_DIR/share/Otawa/autodoc`.

5 Etude de l'énergie

Dans le cadre du projet MORE, l'INRIA Nancy Grand Est doit étudier la consommation d'énergie qui dépend d'une architecture mémoire et des règles qui la régissent. En général, une architecture mémoire se compose d'un processeur, d'un ou plusieurs niveaux de cache et d'une mémoire de masse comme le montre la Figure 4.

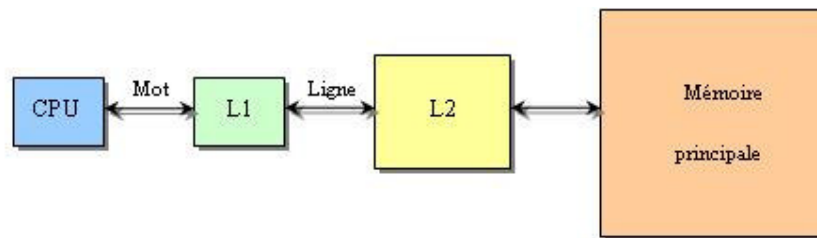


Figure 4 : Les niveaux de cache mémoire

La mémoire cache est petite mais rapide tandis que la mémoire principale est grande mais lente. Cette architecture permet d'accélérer en moyenne l'exécution du code ainsi que l'accès aux données mais cette architecture a un coût énergétique. La gestion de ces différentes mémoires et leurs coûts va être étudié par la suite afin de l'optimiser, le but étant de minimiser le coût énergétique global.

Le calcul du coût énergétique peut, dans sa version la plus simple, se résumer en la sommation de termes tels que nombre d'accès à une mémoire * coût énergétique d'accès à cette mémoire. Pour plus de précision sur les formules du calcul du coût, les différentes façons de gérer les différents niveaux de mémoire, se reporter aux rapports du projet MORE disponibles sur le site web MORE.

6 CACTI

Les informations nécessaires pour calculer le coût énergétique sont :

- le nombre d'accès mémoires
- le coût d'accès énergétique

La première donnée est, ou sera, obtenue grâce à Ottawa. La deuxième donnée est fournie quant à elle par un logiciel du nom de CACTI. En lui fournissant les caractéristiques d'une mémoire, il peut nous fournir, entre autres, des données sur le coût énergétique d'une écriture et d'une lecture dans cette mémoire. C'est un outil utilisable en ligne de commande. Un mini guide d'utilisation de CACTI se trouve dans l'annexe du document.

La suite de ce document, détaille comment récupérer OTAWA et ce qui a été développé dans le cadre du projet MORE, l'architecture d'Ottawa, comment compiler, etc.

7 Benchmarks et cross compilateur

Pour pouvoir utiliser le simulateur Ottawa, il faut récupérer des binaires powerPC (format supporté par Ottawa). Dans le cadre du projet MORE, plusieurs binaires PPC (aussi appelé benchmarks) regroupés en familles ont été sélectionnés. Certains benchmarks ne sont pas utilisés par toutes les équipes. Voici la liste des benches et leur répartition par équipe (Tableau 1).

Famille	Bench	Equipe		
		LORIA	IRIT	LIP6
SN-RT	Fir	OK		
	Jfdctint	OK		
MiBenchs	Bitcount			
	gsm	OK		
	sha	OK		OK
Mälardalen	adpcm	OK	OK	OK
	cnt	OK		
	crc		OK	
	matmul		OK	
	compress	OK	OK	OK
Papabench	autopilot	OK		OK
	fly_by_wire	OK		OK
WCET_bench	Nsischneu	OK	OK	OK
	Statemate	OK		OK
Mediabench	Djpeg	OK		OK
Spec 2000	gzip	OK		OK

Tableau 1 : Benchmarks par équipe

7.1 Génération du cross-compilateur

Pour pouvoir générer ces benchmarks, un cross compilateur est nécessaire. Il permet de générer un code machine pour une architecture B alors que la compilation se fera sur une machine d'architecture A. Pour cela, il existe un script se trouvant sur la page du projet MORE, rubrique compilateur : `build.sh` (que l'on trouvera également sous le nom de `crosstool_build.sh`). Celui-ci va compiler et générer un cross-compilateur, qui génèrera du code pour powerPC et qu'il suffira d'utiliser comme tout compilateur (`gcc, ...`)

Il est possible de générer le cross compilateur de deux manières complètement équivalentes:

- `./crosstool_build.sh`
- `./crosstool_build.sh bin_utils gcc_bootstrap newlib gcc_final gdb`

Lors de la construction du cross-compilateur, des erreurs peuvent apparaître. La section Difficultés rencontrées pourra apporter des solutions aux problèmes rencontrés.

La deuxième méthode sera utile une erreur de type « problème de résolution de nom » arrête la simulation à une des 5 étapes. Si cela arrive lors de l'étape newlib par exemple, il suffira de taper `./crosstool_build.sh newlib gcc_final gdb` pour terminer l'ensemble du processus. A la fin de l'exécution du script de construction du compilateur, dans le répertoire caché `.gcc-4.1.2-newlib-1.15.0/powerpc-eabi/bin` situé au même niveau que le script `crosstool_build.sh`, se trouvera le cross-compileur.

Difficultés rencontrées :

- **problème de version de makeinfo ou texinfo** : il est possible que soit installée une version trop récente de l'application texinfo (4.11 sur Ubuntu Intrepid) pour le cross-compileur qui n'accepte que des versions entre 4.4 et 4.9 inclus. Dans ce cas, il faudra downgrader l'application texinfo. Pour ubuntu, des versions antérieures sont disponibles à cette adresse (<http://fr.archive.ubuntu.com/ubuntu/pool/main/t/texinfo/>). La version actuelle doit être désinstallée avant d'installer la version antérieure. La nouvelle installation doit être bloquée pour éviter de mettre à jour texinfo lors d'une mise à jour du système.
- **warnings being treated as errors** : Lors de la compilation du cross compileur, il est possible de tomber sur cette erreur. Dès lors, à chaque warning, la compilation s'arrête. Cela est dû au fait que l'option `-WERROR` soit présente dans les options de compilation. Pour pouvoir enlever cette option, la variable `OPTS` présente dans le script `crosstool_build.sh` doit être modifié en ajoutant l'option `-disable-werror`.
- **Error : no termcap library found** : cette erreur indique qu'une librairie est manquante mais que l'on peut corriger en installant le package `libncurses5-dev`

7.2 Génération des benchmarks avec le cross-compileur

Tout les benchmarks se trouvent sur le serveur CVS ainsi que sur le wiki MORE. Pour récupérer l'ensemble de ces benchmarks sur le serveur CVS, il suffit de taper la commande suivante:

```
cvs -d :pserver:login@cvs.irit.fr:2401/usr/local/CVS_IRIT/CVS_OTAWA co benches
```

Chaque benchmark contient un répertoire sauf pour `fly_by_wire` et `autopilot` qui se trouvent dans le répertoire `papabench`. Dans chaque répertoire se trouve un makefile pour générer le(s) benchmark(s) correspondant, généré soit dans le répertoire des sources pour les plus simples ou dans un répertoire `bin`. Certains contiendront dans leur nom cette chaîne de caractères « `O1.powerpc-eabi.bin` ».

Pour faire fonctionner les makefile, la variable `PATH` doit être définie de la façon suivante dans le fichier `~/bashrc` :

```
export PATH=[répertoire d'exécution de crosstool_build.sh]/.gcc-4.1.2-newlib-1.15.0/powerpc-eabi/bin:$PATH
```

8 Ottawa et le projet MORE

8.1 Pré-requis logiciels

8.1.1 SystemC

SystemC est disponible sur <http://www.systemc.org>. Un compte gratuit doit être créé pour pouvoir le télécharger. (Le téléchargement peut être long : 1kio/s constaté). Les instructions de compilation se trouvent dans le fichier `INSTALL` (`./configure`, `make`, `make install`). Même si le `make install` échoue, l'important est d'avoir le répertoire `include` pour qu'OTAWA puisse utiliser `systemc`.

ATTENTION !!! : erreur de compilation concernant getenv, rajouter dans le fichier `src/sysc/utills/sc_utills_ids.cpp` les lignes suivantes:

```
#include <stdlib.h>
#include <string.h>
#include "sysc/utills/sc_report.h"
using namespace std;
```

et supprimer « `std::` » devant `getenv` vers la ligne 110 environ.

8.1.2 EFENC

Pour l'installer, il suffit de faire une recherche du package « `electric-fence` » dans votre gestionnaire de package.

8.1.3 Autres packages nécessaires

Automake, bison, flex, libxml2-dev, libtool, patch

8.1.4 Difficultés rencontrées

Dans `./build-more-XXX.sh`, possible nécessité de mettre à jour les lignes concernant les versions d'automake, d'autoconf et de libtool définies dans une variable `CHECK`

8.2 Récupérer et compiler Ottawa

Logiquement, toutes les informations nécessaires sont dans l'intranet du site web du projet MORE, dans le tableau des dernières nouvelles, « `Script de construction Ottawa` ». Un compte à demander auprès de l'équipe de l'IRIT est nécessaire pour y accéder.

Il n'est pas nécessaire d'avoir un compte CVS pour télécharger Ottawa mais par contre, il est indispensable pour pouvoir enregistrer ses modifications sur le CVS.

La procédure à suivre pour télécharger Ottawa est la suivante :

- Créer un répertoire dans lequel va être installé Ottawa, par exemple `~/MORE`.
- Copier le build dans le répertoire, et taper `tar xvzf build-more-XXX.tgz`
- Définir la variable `CVSROOT` à `pserver:login@cvs.irit.fr/usr/local/CVS_IRIT/CVS_OTAWA` : Ceci peut être fait soit en tapant la commande « `export CVSROOT=:pserver:login@cvs.irit.fr/usr/local/CVS_IRIT/CVS_OTAWA` » en remplaçant `login` par celui donné par l'IRIT, soit, en copiant cette même commande dans le `~/bashrc` et en relançant un terminal pour recharger le `bashrc`.
- taper `cvs login`
- puis `./build-more-XXX.sh --dev --with-systemc=CHEMIN_DE_SYSTEMC` (en absolu) où `CHEMIN_DE_SYSTEMC` pourrait être `/user/Home/MORE/systemc/` (**!!! Attention de ne pas oublier le caractère « / » à la fin du chemin de systemc**)
- ATTENTION : ce script ne marche que si le login de connection à la machine est le même que le login utilisé pour CVS. Si ce n'est pas le cas, il faudra y rajouter juste avant `cvs_user=$LOGNAME` la ligne `LOGNAME=votrelogin`

8.3 Ajout de source dans Ottawa

Ottawa utilise plusieurs outils pour pouvoir avoir une gestion simplifiée de la compilation. Automake autoconf permettent ainsi de générer automatiquement des makefiles à partir de fichiers `Makefile.am`.

8.3.1 Ajout d'un fichier source dans un répertoire existant

Pour pouvoir ajouter un fichier dans un répertoire déjà présent et que celui-ci soit pris en compte dans le processus de compilation, il faut ajouter dans le fichier `Makefile.am` du répertoire où

le fichier est ajouté le nom de votre source (ex : monCode.cpp) dans la variable xxx_SOURCES.

```
AM_CXXFLAGS = @OTAWA_CXXFLAGS@ @SYSTEMC_CXXFLAGS@ -Wall
-O2

Bin_PROGRAMS=simuLoria

simuLoria_LDADD = @LOADER_LIBS@ @OTAWA_LIBS@
@OGENSIM_LIBS@ ../LIP6/cacti/libcacti.la ../energy/libenergy.la -lpthread -lm

simuLoria_DEPENDENCIES = @LOADER_DEPS@ @OTAWA_DEPS@
@OGENSIM_DEPS@ ../LIP6/cacti/libcacti.la

simuLoria_SOURCES = \
    simuLoria.cpp \
    InfosCacti.cpp
```

Figure 5 : Exemple de makefile

Attention : l'ordre des répertoires a une importance, surtout si un source A dépend d'un autre source B. Dans ce cas, il faudra placer le source B avant la source A dans la liste pour qu'il soit compilé en premier.

Ainsi, lors d'un prochain make, le nouveau fichier sera pris en compte.

8.3.2 Ajout d'un fichier dans un répertoire à créer

Pour pouvoir ajouter un fichier dans un répertoire qui doit être créé préalablement, il faudra de la même manière faire connaître le répertoire dans des fichiers de configuration. Voici la procédure à suivre :

- créer le répertoire désiré : par exemple, créer src/MORE/monRepertoire
- aller dans le répertoire src/MORE
- dans le fichier Makefile.am, ajouter le répertoire monRepertoire dans la variable SUBDIRS
- dans le répertoire src/MORE/monRepertoire, ajouter un fichier source. ex : monCode.cpp
- récupérer un Makefile.am se trouvant au même niveau et le mettre dans src/MORE/monRepertoire
- Dans ce fichier Makefile.am, mettez votre source monCode.cpp dans la variable xxx_SOURCES (supprimez les sources précédents qui ne sont plus utiles)
- Dans le fichier configure.ac se trouvant à la racine d'Otawa, ajoutez le Makefile que automake doit générer en ajoutant dans la variable AC_CONFIG_FILES([...]) ceci : src/MORE/monRepertoire/Makefile

En faisant un make à la racine du projet ou au niveau supérieur ou même en compilant dans Eclipse (cf. rubrique suivante), votre nouveau Makefile qui aura servi à compiler votre fichier monCode.cpp va apparaître.

8.4 Ottawa dans Eclipse

Eclipse est un IDE multi langage et il est possible de travailler sur Ottawa dans cet éditeur. Il gère la compilation, l'exécution et le développement collaboratif grâce à CVS.

Pour importer Ottawa dans Eclipse :

- cliquer sur file->new->C++ Project
- donner un nom de projet, par exemple, OttawaProject
- décocher « default location »
- dans le champ location, indiquer le répertoire de Ottawa, par exemple, <install_dir>/otawa/otawa
- dans project type, choisir Makefile project -> Empty project
- dans Toolchain, choisir Linux GCC
- valider

Eclipse va alors charger Ottawa dans un projet visible dans le menu à gauche, charger les numéros de version des fichiers et logiquement déjà faire une première compilation. Si ce n'est pas le cas, il suffira de lancer la compilation manuellement.

Pour compiler le projet, il suffira d'aller dans le menu « project » et cliquer sur « Build All ». La compilation peut prendre plusieurs minutes.

8.4.1 Exécution sur un benchmark dans Eclipse

Comme précisé plus haut dans cette documentation, Ottawa est un simulateur et a besoin de paramètres comme les fichiers de configuration du processeur et de la mémoire cache. Il est possible de le lancer directement dans Eclipse.

Voici la démarche à suivre pour créer un run pour le bench fir:

- Aller dans le menu run puis runs configuration. Une fenêtre s'ouvre.
- Cliquer deux fois sur C/C++ Local Application pour faire apparaître New_configuration
- A droite, dans le champ name, taper « simuloria_fir »
- Dans le champ Project, cliquer sur le bouton browse et choisissez OttawaProject
- Dans le champ C/C++ application, cliquer sur le bouton Search project... et choisir le simulateur simuLoria.
- Dans l'onglet arguments, dans le champ program arguments, taper les paramètres du simulateur. Par exemple, -p < chemin absolue du fichier config1.xml > -c <chemin absolue du fichier idcache.xml > < chemin absolue du fichier fir > **Attention : ne pas mettre des caractères à interpréter comme ~, car ceux ci ne sont pas interprétés dans Eclipse**

Dès lors, un run prêt à être lancé en un clic est disponible.

9 Fonctionnement du pipeline processeur

9.1 Quelques précisions sur certains modules

9.1.1 Sérialisation/désérialisation

En plus de la documentation que l'on trouve à ce sujet dans Ottawa, on peut ajouter que la sérialisation d'une classe nécessite que celle-ci possède un constructeur pas défaut ne prenant aucun paramètre ou des paramètres ayant une valeur par défaut.

Egalement, si la désérialisation xml->objet est possible, l'inverse ne l'est pas, tout du moins dans la branche MORE de ELM³.

10 Fonctionnement de la mémoire cache

L'objectif de ce paragraphe est d'expliquer comment fonctionne plus précisément la mémoire cache. On supposera qu'il n'y a qu'un cache, une mémoire de masse et un processeur. Il existe plusieurs types de cache et pour certains de ces caches, on peut appliquer certaines stratégies dites de remplacement.

Les 3 types de cache sont le Direct Mapped cache, le Full Associative cache et le N Way set associative cache qui est un mélange entre les deux premiers. Chaque comportement que l'on va indiquer dans la suite est intégré dans la puce avec des composants électroniques (porte AND par exemple)

10.1 Direct Mapped Cache

Le direct mapped cache est un cache où chaque ligne du cache est associée à plusieurs lignes déterminées et fixes de la mémoire de masse. Ainsi, si une mémoire dispose de 8 lignes et que le cache possède 2 lignes, une association résultante sera celle de la Figure 6.

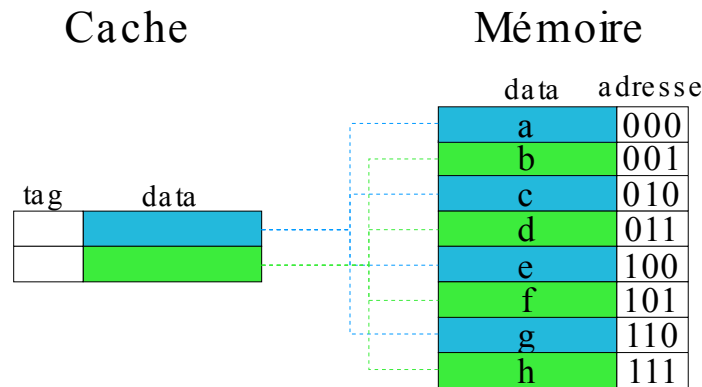


Figure 6 : association entre le cache et la mémoire

Il y a $8=2^3$ lignes dans cette mémoire donc l'adressage de la mémoire se fera sur 3 bits. Le processeur veut accéder à la donnée se trouvant à l'adresse 101. Le cache étant vide, il y a défaut de cache dit obligatoire étant donné qu'il s'agit de la première demande. Le contrôleur de cache va donc faire une copie de la donnée en mémoire et d'une partie de son adresse dans le cache comme sur la Figure 7.

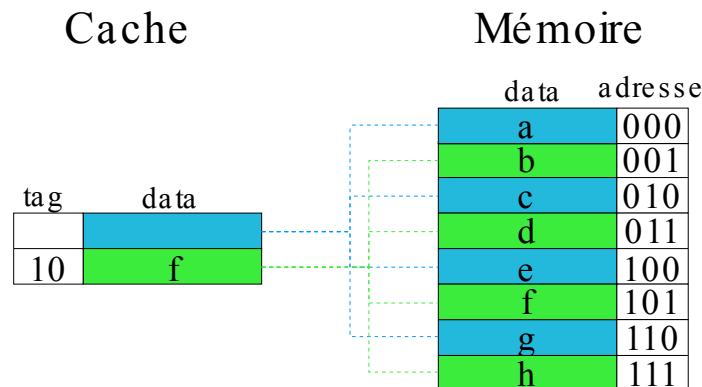


Figure 7 : Etat du cache après une demande de donné

Supposons que le processeur redemande la donnée se trouvant à l'adresse 101. La première chose que le contrôleur de cache va faire est de vérifier que la donnée ne se trouve pas déjà dans le cache. Pour cela, il va découper l'adresse en 2, le tag et l'index. L'index va lui permettre de retrouver la ligne du cache où la donnée pourrait éventuellement être. Il y a $2=2^1$ lignes dans le cache donc 1 bit suffit pour connaître l'index de la ligne : le bit de poids le plus faible. Il s'agit de la ligne de cache d'adresse 1. Si on avait eu un cache de $4=2^2$ lignes, il aurait fallu utiliser les 2 premiers bits de poids faible pour connaître l'index de la ligne.

Une fois la ligne trouvée, il suffit de comparer le reste de l'adresse appelé tag avec le tag se trouvant à la ligne 1 du cache. Si c'est le même, la donnée est déjà présente dans le cache sinon il y a défaut de cache.

En réalité, l'adresse ne sera pas découpée en 2 (tag et index) mais en 3 (tag, index et offset) car chaque ligne de la mémoire de masse contient en fait plusieurs octets et l'offset permet de récupérer un octet particulier.

Ici, il n'y a pas de stratégie de remplacement contrairement aux 2 autres types de cache.

10.2 Full Associative cache

Contrairement au Direct Mapped cache, dans le cas du Full associative cache, une ligne de la mémoire de masse peut se placer n'importe où dans le cache. Il n'y a pas de place prédéfinie. Donc, lorsque l'on cherche à savoir si une donnée est disponible dans le cache, le tag de l'adresse va être comparé à toutes les entrées du cache et ceci, en parallèle. Ici, l'adresse n'est plus découpée qu'en 2 morceaux : le tag et l'offset.

Les défauts de cache sont corrigés en remplissant au fur et à mesure le cache et lorsque celui-ci est plein, il faut alors choisir d'écraser une donnée déjà présente dans le cache. C'est là qu'interviennent les stratégies de remplacement, parmi lesquelles :

- La stratégie de choix aléatoire : la ligne est choisie de manière aléatoire parmi les lignes possible.
- La stratégie LRU (Least Recently Used) : La ligne évincée est celle qui a été la plus anciennement référencée.
- La stratégie FIFO (First In First Out) : les lignes de la mémoire cache sont effacées dans l'ordre où elles sont arrivées dans la mémoire cache

10.3 N-way Set Associative cache

Il s'agit d'un compromis entre les deux premières solutions. En fait, tout se passe comme si il y avait plusieurs Direct Mapped caches en parallèle. Prenons par exemple un 2-way set associative cache. L'index va permettre de sélectionner un « ensemble » ou « set » du cache comme pour le Direct Mapped cache. Dans chaque ensemble par contre, le tag de l'adresse sera comparé aux adresses présentes dans cet ensemble à la manière d'un Full Associative cache. Bien entendu, la stratégie de remplacement est également présente dans ce type de cache.

10.4 Politiques d'écriture

Les accès en lecture sur le cache sont les plus nombreux (lecture d'opérandes, accès aux instructions) et ne posent pas de réels problèmes, alors que les accès en écriture, moins nombreux, nécessitent une gestion rigoureuse de la cohérence des données au travers de la hiérarchie mémoire. Là encore, diverses politiques sont mises en oeuvre lors de la modification d'une donnée :

- **Écriture simultanée** (write-through) : lorsqu'une ligne du cache est modifiée, cette ligne est écrite tout de suite dans un niveau mémoire inférieur de la hiérarchie. Cette politique garantit la cohérence entre les niveaux mais augmente le trafic sur le bus de données. Généralement, pour éviter que les écritures entravent le fonctionnement de l'UC, elles sont placées dans un tampon d'écriture ou write-buffer et effectuées pendant que l'UC se consacre à d'autres tâches.
- **Recopie** ou write-back : la ligne est marquée « modifiée » et elle sera recopiée en mémoire lorsqu'elle sera évincée du cache.

De plus, lorsque l'UC veut écrire une donnée dans une ligne absente du cache, l'une des deux options suivantes est généralement utilisée :

- **Écriture attribuée** ou write-allocate : la ligne est chargée dans le cache avant d'être modifiée.
- **Écriture non attribuée** ou no write allocate : la ligne est modifiée directement dans le niveau inférieur de la hiérarchie et non chargée dans le cache.

L'option write-allocate est généralement associée à la politique d'écriture write-back, et l'option no write-allocate à la politique d'écriture write-through (ce qui est cohérent dans la mesure où une écriture nécessitera sa mise à jour directement dans la mémoire, on évite ainsi des transferts supplémentaires).

10.5 Diagramme de classe du cache modélisé

Le diagramme de classe de la Figure 8 décrit le fonctionnement du cache modélisé à comparer au fonctionnement décrit ci-dessus. Les classes de ce diagramme sont réparties dans des fichiers de la façon suivante :

- memory.h/cpp : définition et implémentation des classes **MemorySystem** et **MemoryStats**
- GenericState.h/cpp : définition et implémentation de la classe **GenericState**
- Cache.h : définition et implémentation de la classe **Cache**
- CacheDriver.h : définition de la classe **CacheDriver**
- AbstractCacheDriver.h : définition des classes **AbstractCacheDriver**, **LRUCacheDriver**, **FIFOCacheDriver** et **DirectMappedCacheDriver**
- sim_AbstracCacheDriver.cpp : implémentation des classes **AbstractCacheDriver**, **LRUCacheDriver**, **FIFOCacheDriver** et **DirectMappedCacheDriver**

La classe hard::Cache contient les caractéristiques d'un cache (capacité, nombre de voies, taille d'un block, etc). Les comportements, qui seront déduits des caractéristiques du cache, sont définis dans les classes xxxDriver.

Dans Ottawa, seules les adresses mémoires sont utilisées pour simuler les accès aux caches. Ainsi, on trouvera dans la classe `AbstractCacheDriver`, un pointeur lignes sur un tableau de tags de taille nombre de voie * nombre de lignes par voie.

Ensuite, dans les classes `LRUCacheDriver`, `FIFOCacheDriver` et `DirectMappedCacheDriver` sont définies les fonctions `touch` et `replace` qui seront chargées de réorganiser le tableau pour chaque type de cache. Ces fonctions sont implémentées pour simuler les stratégies FIFO et LRU. Par contre, on verra que `touch` n'est pas implémentée dans la classe `DirectMappedCacheDriver` car la stratégie de remplacement est intrinsèque pour ce type de cache.

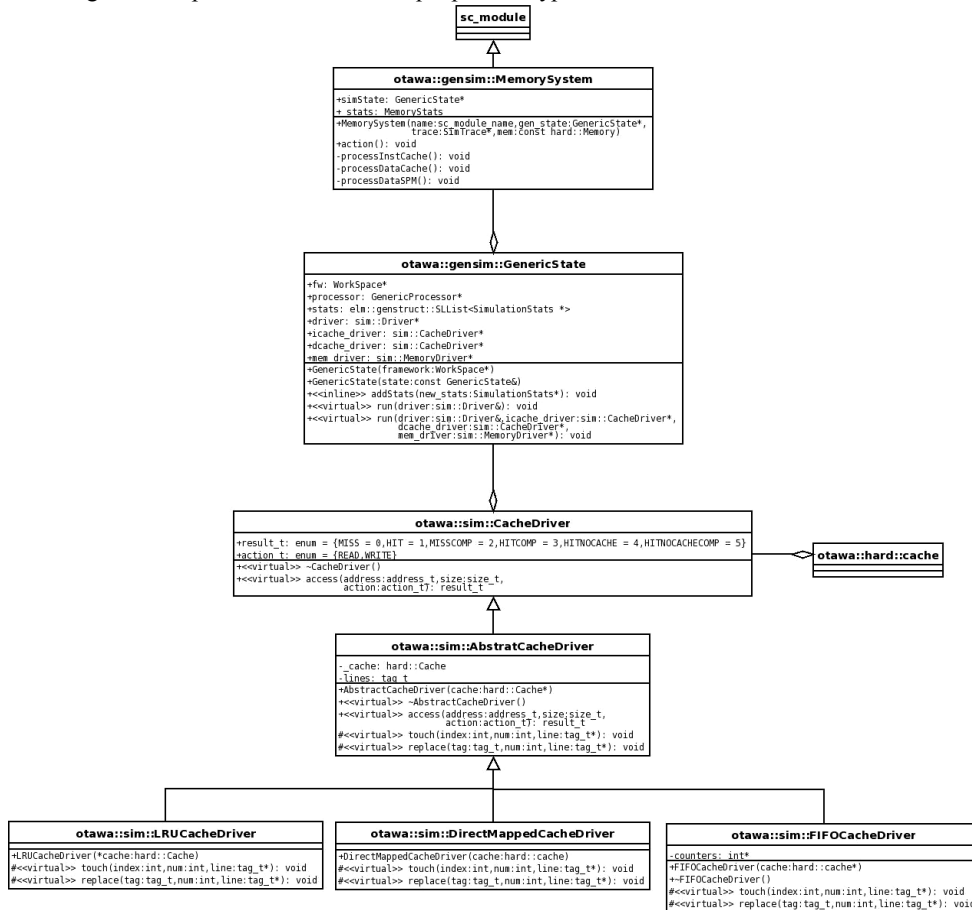


Figure 8 : Diagramme de classe de la gestion des caches mémoires

10.6 GenericState et MemorySystem

`GenericState` est une classe qui fournit des services pour contrôler la simulation en général. Elle contient le processeur, les différents drivers et une liste de classes pour les statistiques (cf `SimulationStats`) qui vont évoluer durant la simulation. C'est également grâce à cette classe que l'on va pouvoir contrôler la simulation.

11 Implémentation du calcul de l'énergie

11.1 Implémentation de la hiérarchie mémoire

11.1.1 Fichier de configuration

Le fichier de configuration permet de définir la hiérarchie mémoire afin de pouvoir simuler celle-ci.

La grammaire du fichier de configuration de la hiérarchie mémoire est disponible à cette adresse (<http://www.irit.fr/recherches/ARCHI/MARCH/WIKI/doku.php?id=otawa:format:start>). Ci-dessous, un exemple de fichier de configuration respectant cette grammaire :

```
<?xml version="1.0" encoding="UTF-8"?>
<memory>
  <banks>
    <bank>
      <name>DRAM</name>
      <address>
        <space>0x00000000</space>
        <offset>0x00000000</offset>
      </address>
      <size>0x8FFFFFFF</size>
      <type>DRAM</type>
      <latency>12</latency>
      <power>10</power>
      <modes>
        <mode id="eveille">
          <name>eveille</name>
          <latency>11</latency>
          <static_power>11</static_power>
          <dynamic_power>11</dynamic_power>
          <transitions>
            <transition>
              <latency>5</latency>
              <power>5</power>
              <dest ref="endormi"/>
            </transition>
          </transitions>
        </mode>
        <mode id="endormi">
          <name>endormi</name>
          <latency>15</latency>
          <static_power>3</static_power>
          <dynamic_power>4</dynamic_power>
          <transitions>
            <transition>
              <latency>5</latency>
              <power>5</power>
              <dest ref="eveille"/>
            </transition>
          </transitions>
        </mode>
      </modes>
      <block_bits>4</block_bits>           //puissance de 2
      <cached>true</cached>
      <on_chip>true</on_chip>
      <writable>true</writable>
      <port>
        <number>1</number>
        <bus ref="Bus1"/>
      </port>
    </bank>
  </banks>
</memory>
```

```

</bank>
<bank>
  <name>SCRATCH PAD MEMORY</name>
  <address>
    <space>0x00000000</space>
    <offset>0xA0000000</offset>
  </address>
  <size>0x0FFFFFFF</size>
  <type>SPM</type>
  <latency>10</latency>
  <power>10</power>
  <block_bits>4</block_bits>
  <cached>>false</cached>
  <on_chip>>true</on_chip>
  <writable>>true</writable>
  <port>
    <number>1</number>
    <bus_ref="Bus1"/>
  </port>
</bank>
<bank>
  <name>non-volatile memory</name>
  <address>
    <space>0x00000000</space>
    <offset>0xB0000000</offset>
  </address>
  <size>0x00000100</size>
  <type>ROM</type>
  <latency>10</latency>
  <power>10</power>
  <block_bits>4</block_bits> //puissance de 2
  <cached>>false</cached>
  <on_chip>>true</on_chip>
  <writable>>false</writable>
  <port>
    <number>1</number>
    <bus_ref="Bus1"/>
  </port>
</bank>
</banks>
<buses>
  <bus id="Bus1">
    <name>Bus1</name>
    <type>LOCAL</type>
  </bus>
</buses>
</memory>

```

Figure 9 : Fichier de configuration de la hiérarchie mémoire

Ce fichier doit respecter également d'autres règles. Par exemple, deux bancs de même type de mémoire doivent avoir les mêmes caractéristiques (`cached`, `on_chip`, etc). Pour deux bancs de type DRAM, ceux-ci doivent être juxtaposés dans l'espace d'adressage et donc ne pas être séparés par un banc de type différent. Ces règles sont les conséquences d'un choix technique qui aurait pu être tout autre.

11.1.2 Diagramme de classe

Pour simuler la hiérarchie mémoire en terme de structure, 2 classes **SPMDriver** et **DRAMDriver** correspondant à la SPM et à la DRAM ont été ajoutées à la classe **GenericState**, qui contient déjà 2 **CacheDriver** pour le cache d'instructions et le cache de données. Ces 2 classes héritent de **MemoryDriver**. On pourra ajouter par la suite deux classes supplémentaires comme

IODriver et ROMDriver si on le désire. On peut remarquer que la classe **AbstractCacheDriver** a connaissance du **DRAMDriver** afin de pouvoir correctement simuler le comportement du cache vis à vis de la mémoire de niveau supérieur lors d'un miss.

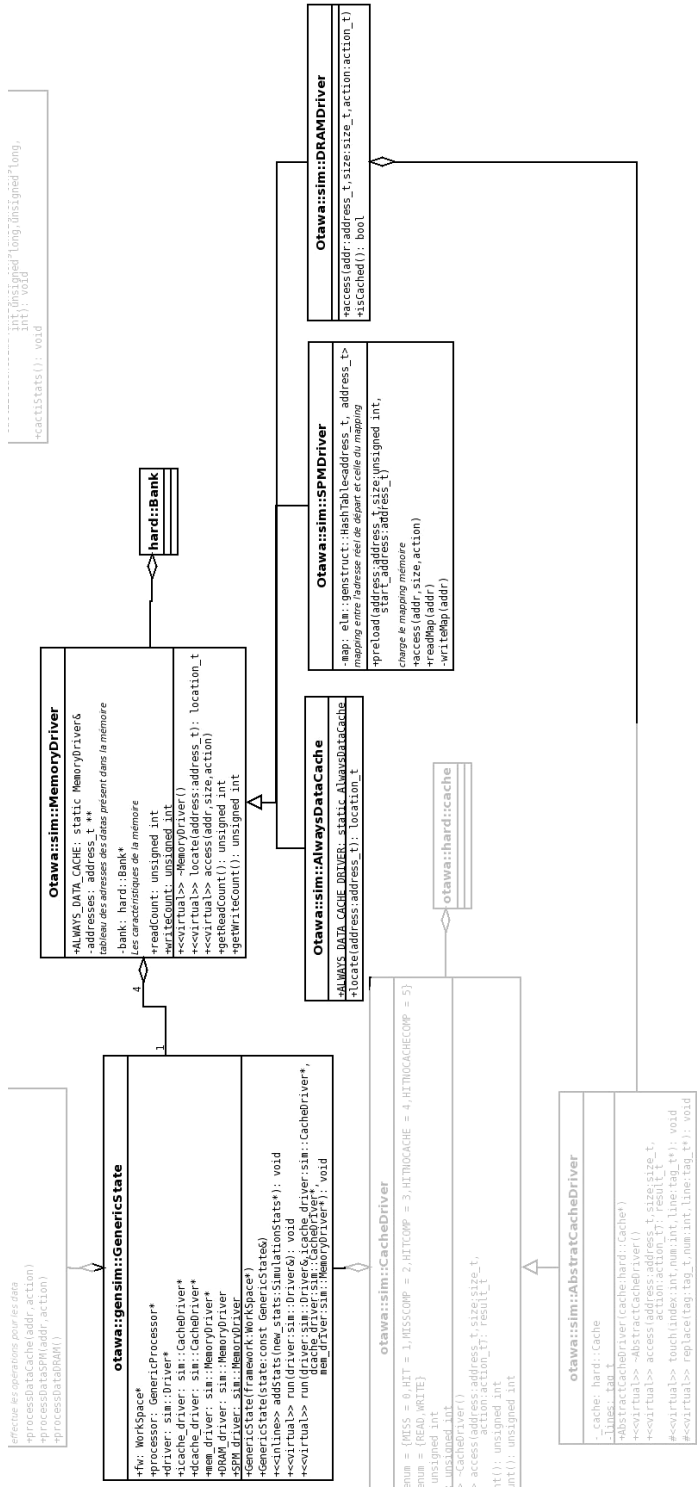


Figure 10 : Diagramme de classes de gestion de la memoire de masse

Enfin, chaque entité mémoire (cache, SPM, DRAM) possède deux compteurs, **readCount** et **writeCount** qui sont incrémentés lors de l'appel à la méthode `access`. Ces compteurs sont accessibles par des accesseurs afin de pouvoir calculer l'énergie consommée.

11.2 SPM et statistiques sur les données

Dans la SPM existent, pour simplifier, deux conteneurs. Un conteneur contenant les adresses des données qui sont disponibles dans la SPM, et une map qui fait la correspondance entre les adresses d'entrées qui n'auront pas pu être mises dans la SPM et leurs adresses de placement dans la DRAM.

Avant de pouvoir charger la SPM, la première étape est de pouvoir enregistrer l'ensemble des adresses des accès aux données (point détaillé dans le paragraphe Guide d'utilisation de l'outil de calcul de l'énergie), des tailles d'accès et des types d'action. Une fois que ces informations sont enregistrées, elles pourront être chargées à travers l'objet `DataAccessStatistic`, à partir du quel, on pourra obtenir une liste d'adresses triées selon différents critères. Les critères sont :

- `firstUsed` : les adresses sont placées par ordre d'apparition
- `frequency` : les adresses sont placées par ordre décroissant du nombre d'apparitions
- `size` : les adresses sont placées par ordre croissant de la taille d'accès
- `numberonsize` : les adresses sont placées par ordre décroissant de la division du nombre d'apparitions sur la taille de l'accès

Une fois cette liste triée obtenue, on peut demander à pré charger la SPM grâce à la fonction `preload()` de la classe **SPMDriver**.

11.3 Calcul de l'énergie

Pour calculer l'énergie consommée lors de l'utilisation d'un bench, une application est utilisée. Il s'agit de Cacti dont les sources ont été intégrés à Ottawa par le LIP6 qui a réalisé une interface d'utilisation. Cette interface nous permet d'obtenir le coût unitaire énergétique en lecture et en écriture de chaque entité mémoire.

Le calcul de l'énergie consommée est réalisé grâce à la classe **EnergyEstimator** chargée de récupérer les coûts unitaires énergétiques ainsi que des compteurs de lecture/écriture de chaque entité. Le coût total revient alors à une somme de :

`cout unitaire lecture/écriture * compteurs de lecture/écriture`

12 Création des diagrammes à partir des résultats sous Open Office

Ce qui suit est un résumé non exhaustif qui permet de créer un diagramme à partir des données grâce au langage de macro Open Office Basic (ressemblant énormément à VB).

Voici un exemple de données brutes à traiter

A	B	AK
Bench	Parameters	Energy Total
/home/more/Bureau/MORE/benches/bitcount/src/bitcnts-01.powerpc-eabi.bin		100 32722.
/home/more/Bureau/MORE/benches/bitcount/src/bitcnts-01.powerpc-eabi.bin		300 36946.
/home/more/Bureau/MORE/benches/bitcount/src/bitcnts-01.powerpc-eabi.bin		500 41073.
/home/more/Bureau/MORE/benches/bitcount/src/bitcnts-01.powerpc-eabi.bin		700 45236.
/home/more/Bureau/MORE/benches/bitcount/src/bitcnts-01.powerpc-eabi.bin		900 49428.
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/80x60xtype1.jpg.ppm ./data_djpeg/80x60xtype1.jpg	79853
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/160x120xtype1.jpg.ppm ./data_djpeg/160x120xtype1.jpg	2.72E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/320x240xtype1.jpg.ppm ./data_djpeg/320x240xtype1.jpg	1.05E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/640x480xtype1.jpg.ppm ./data_djpeg/640x480xtype1.jpg	4.13E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/80x60xtype2.jpg.ppm ./data_djpeg/80x60xtype2.jpg	36894
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/160x120xtype2.jpg.ppm ./data_djpeg/160x120xtype2.jpg	1.19E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/320x240xtype2.jpg.ppm ./data_djpeg/320x240xtype2.jpg	4.15E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/640x480xtype2.jpg.ppm ./data_djpeg/640x480xtype2.jpg	1.68E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/80x60xtype3.jpg.ppm ./data_djpeg/80x60xtype3.jpg	74594
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/160x120xtype3.jpg.ppm ./data_djpeg/160x120xtype3.jpg	2.48E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/320x240xtype3.jpg.ppm ./data_djpeg/320x240xtype3.jpg	9.24E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/640x480xtype3.jpg.ppm ./data_djpeg/640x480xtype3.jpg	3.53E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/80x60xtype4.jpg.ppm ./data_djpeg/80x60xtype4.jpg	81674
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/160x120xtype4.jpg.ppm ./data_djpeg/160x120xtype4.jpg	2.69E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/320x240xtype4.jpg.ppm ./data_djpeg/320x240xtype4.jpg	9.51E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/jpeg/bin/djpeg-O1.powerpc-eabi.bin	-dct int -ppm -outfile ./data_djpeg/640x480xtype4.jpg.ppm ./data_djpeg/640x480xtype4.jpg	3.67E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/gzip/src/gzip-O1.powerpc-eabi.bin	./data_gzip/11ko.txt	44317
/home/more/Bureau/MORE/benches/gzip/src/gzip-O1.powerpc-eabi.bin	./data_gzip/11ko.htm	86388
/home/more/Bureau/MORE/benches/gzip/src/gzip-O1.powerpc-eabi.bin	./data_gzip/11ko.exe	1.34E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/gzip/src/gzip-O1.powerpc-eabi.bin	./data_gzip/11ko.jpg	1.51E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/gzip/src/gzip-O1.powerpc-eabi.bin	./data_gzip/30ko.txt	83098
/home/more/Bureau/MORE/benches/gzip/src/gzip-O1.powerpc-eabi.bin	./data_gzip/30ko.htm	2.00E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/gzip/src/gzip-O1.powerpc-eabi.bin	./data_gzip/30ko.exe	2.79E+00
/home/more/Bureau/MORE/benches/azib/src/azib-O1.powerpc-eabi.bin	./data_azib/30ko.ioo	3.84E+00

Figure 11 : Données brutes issu d'un tableur

Le but de cet exemple est ici de traiter les données concernant le bench bitcount (ligne 2 à 6) et d'obtenir le diagramme de la Figure 12:

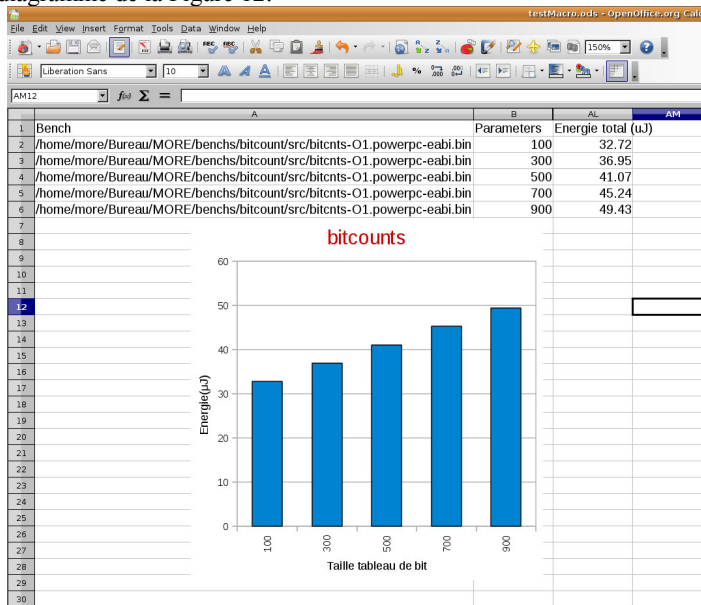


Figure 12: Diagramme produit par une macro

Ci-dessous se trouve le code de la macro qui permet de créer le diagramme ci dessus ainsi qu'un deuxième diagramme qui traite le bench gzip.

Voici quelques ressources qui peuvent permettre de mieux comprendre le code:

<http://api.openoffice.org/docs/common/ref/com/sun/star/module-ix.html>

<http://ooo.developpez.com/faq/?page=Calc>

http://wiki.services.openoffice.org/wiki/Documentation/BASIC_Guide

```

Sub Main
    ' add bench here
    Dim benchNbr as integer
    benchNbr = 2
    Dim benchList(0 to benchNbr-1) As string
    Dim benchPatterns(0 to benchNbr-1) As string
    benchList(0)="bitcounts"
    benchPatterns(0)="bitcnts"
    dataRange = ThisComponent.Sheets(0).GetCellRangeByName("A1:AK" &
dataNbr(ThisComponent.Sheets(0)))

    For I = 0 To benchNbr-1
        filteringData(benchList(I), benchPatterns(I), dataRange)
    next I

    computeBitcount(benchList(0))
    computeGZIP(benchList(1))

End Sub

sub clean
    'For I = 0 To benchNbr-1
    ' getByIndex()
    'next I
end sub

'hide columns selected by the range
sub hideColumns(aera as New com.sun.star.table.CellRange)
    aeraAddr = aera.getRangeAddress()
    For I = aeraAddr.StartColumn To aeraAddr.EndColumn

        ThisComponent.getSheets().getByIndex(aeraAddr.sheet).Columns(I).IsV
isible = false
    Next I
end sub

'compute the count of data
Function dataNbr(sheet as object)
    Dim oCursur As Object
    oCursur = sheet.createCursor
    oCursur.gotoEndOfUsedArea(False)
    dataNbr = oCursur.RangeAddress.EndRow+1
end Function

'filtering and copy in new sheet
sub filteringData(benchName as string, benchPattern as string,
dataRange as Object)
    Dim aDestAddr As New com.sun.star.table.CellAddress
    Dim aFilterFields(0) As new com.sun.star.sheet.TableFilterField

    If not ThisComponent.Sheets.hasByName(benchName) Then

        ThisComponent.sheets.insertNewByName(benchName,thisComponent.sheets

```

```

.getCount)
End if

sheet = ThisComponent.getSheets().getByName(benchName)
aFilterDesc = dataRange.createFilterDescriptor(True)
' destination address
Dim destCell As Object
destCell = sheet.getCellByPosition( 0, 0 )
' filter definition
' filter column
aFilterFields(0).Field = 0
aFilterFields(0).IsNumeric = False
aFilterFields(0).Operator = com.sun.star.sheet.FilterOperator.EQUAL
aFilterFields(0).StringValue = ".*" & benchPattern & ".*"

' filter setting up
aFilterDesc.setFilterFields( aFilterFields() )
aFilterDesc.OutputPosition = destCell.getCellAddress ' destination
address
aFilterDesc.CopyOutputData = True 'with data copy
aFilterDesc.ContainsHeader = True ' with column label
aFilterDesc.SkipDuplicates = True ' without duplicate data
aFilterDesc.UseRegularExpressions = true

dataRange.filter(aFilterDesc)

end sub

'create a data pilot from a data range to a destination cell
sub createDataPilot(dataRange as Object, destCell As Object)
dataRangeAddr = dataRange.getRangeAddress()
sheet=ThisComponent.getSheets().getByIndex(dataRangeAddr.sheet)
benchName=sheet.getName()

' get the DataPilotTables collection
Dim DPTables As Object
DPTables = sheet.getDataPilotTables()
' create a DataPilot descriptor
Dim DPDesc As Object
DPDesc = DPTables.createDataPilotDescriptor()
DPDesc.setSourceRange(dataRangeAddr)
DPDesc.setPropertyValue("IgnoreEmptyRows", true)
DPDesc.setPropertyValue("ShowFilterButton", false)
DPDesc.setPropertyValue("ColumnGrand", false)
DPDesc.setPropertyValue("RowGrand", false)

' get the DataPilot fields
Dim Fields As Object
Fields = DPDesc.getDataPilotFields()
' define one field for properties
Dim aFieldObj As Object
' set the 1st col as row field
aFieldObj = Fields.getByIndex(0)
aFieldObj.setPropertyValue("Orientation",
com.sun.star.sheet.DataPilotFieldOrientation.COLUMN)

' set the 2nd col as row field
aFieldObj = Fields.getByIndex(1)
aFieldObj.setPropertyValue("Orientation",
com.sun.star.sheet.DataPilotFieldOrientation.ROW)

' set the 3rd col as data field (no calc its SUM)
aFieldObj = Fields.getByIndex(2)
aFieldObj.setPropertyValue("Orientation",

```

```

com.sun.star.sheet.DataPilotFieldOrientation.DATA)
    'aFieldObj.setPropertyValue("Function",
com.sun.star.sheet.GeneralFunction.SUM)

    cellAddress = destCell.getCellAddress

    if DPTables.hasByName(benchName) then
        DPTables.getByNamed(benchName)
    else
        DPTables.insertNewByName(benchName, cellAddress, DPDesc)
    end if
end sub

sub computeBitcount(sheetName as string)
    sheet = ThisComponent.getSheets().getByName(sheetName)
    aera = sheet.getCellRangeByName("C1:AK1")
    hideColumns(aera)
    Cell = sheet.getCellRangeByName("AL1")
    Cell.String = "Energie total (uJ)"
    Cell = sheet.getCellRangeByName("AL2")
    Cell.Formula = "=AK2/1000"
    aera = sheet.getCellRangeByName("AL2:AL" & dataNbr(sheet))
    aera.fillseries(com.sun.star.sheet.FillDirection.TO_BOTTOM, com.sun.
star.sheet.FillMode.SIMPLE, 0, 1, 0)

    aera = sheet.getCellRangeByName("B1:AL" & dataNbr(sheet))
    graph(sheet.getName(), aera.getRangeAddress(), true, "Taille tableau
de bit", true, "Energie (uJ)", false)
end sub

sub computeGZIP(sheetName as string)
    sheet = ThisComponent.getSheets().getByName(sheetName)
    aera = sheet.getCellRangeByName("C1:AK1")
    hideColumns(aera)

    Cell = sheet.getCellRangeByName("AL1")
    Cell.String = "type"
    Cell = sheet.getCellRangeByName("AL2")
    Cell.Formula = "=MID(B2;LEN(B2)-3;3)"
    Cell = sheet.getCellRangeByName("AM1")
    Cell.String = "taille"
    Cell = sheet.getCellRangeByName("AM2")
    Cell.Formula =
"=VALUE(MID(B2;SEARCH("[:digit:]*ko";B2);SEARCH("ko";B2)-
SEARCH("[:digit:]*ko";B2)))"
    Cell = sheet.getCellRangeByName("AN1")
    Cell.String = "Energie total (uJ)"
    Cell = sheet.getCellRangeByName("AN2")
    Cell.Formula = "=AK2/1000"

    aera = sheet.getCellRangeByName("AL2:AL" & dataNbr(sheet))
    aera.fillseries(com.sun.star.sheet.FillDirection.TO_BOTTOM, com.sun.
star.sheet.FillMode.SIMPLE, 0, 1, 0)
    aera = sheet.getCellRangeByName("AM2:AL" & dataNbr(sheet))
    aera.fillseries(com.sun.star.sheet.FillDirection.TO_BOTTOM, com.sun.
star.sheet.FillMode.SIMPLE, 0, 1, 0)
    aera = sheet.getCellRangeByName("AN2:AL" & dataNbr(sheet))
    aera.fillseries(com.sun.star.sheet.FillDirection.TO_BOTTOM, com.sun.
star.sheet.FillMode.SIMPLE, 0, 1, 0)

    dataRange = sheet.getCellRangeByName("AL1:AN" & dataNbr(sheet))
    destCell = sheet.getCellRangeByName("AP1")
    createDataPilot(dataRange, destCell)

```

```

oCasseur = sheet.createCursorByRange(destCell)
'oCasseur.gotoEnd()
oCasseur.collapseToCurrentRegion()
Cible = oCasseur.getRangeAddress()

Cible.StartRow = Cible.StartRow + 1

graph(sheet.getName(),Cible,true,"Taille (Ko)",true,"Energie (µJ)",
true)
end sub

' create a graph from a data range
sub graph(benchName as string, dataRangeAddr as Object,
firstColIsLabel as boolean, xlabel as string, firstRowIsLabel as
boolean, ylabel as string, hasLegend as boolean)
'dataRangeAddr = dataRange.getRangeAddress()
sheet=ThisComponent.getSheets().getByIndex(dataRangeAddr.sheet)
Dim Rect As New com.sun.star.awt.Rectangle
Dim Source(0) As New com.sun.star.table.CellRangeAddress
Dim oCharts As Object , oChart As Object
'sheet where we will create the graph
oCharts = sheet.Charts
'--- specify position and size of graph ---
Rect.X = 5000 'horizontal
Rect.Y = 5000 'vertical
Rect.Width = 10000 'Largeur
Rect.Height = 10000 'Hauteur

Source(0) = dataRangeAddr

'Création du graphique
if ocharts.hasByName(benchName) then
oCharts.getByName(benchName)
else
oCharts.addNewByName(benchName,Rect ,Source(),True , True)
end if

'Place le graphique dans la feuille de calcul
oChart = oCharts.getByName(benchName).EmbeddedObject

With oChart
'Type de graphique (Scatters)
.Diagram =
oChart.createInstance("com.sun.star.chart.BarDiagram")

'Lissage des lignes (0: pas de lissage, 1: spline cubique, 2:
spline B)
.Diagram.SplineType = 0
'Change le symbole des points
.Diagram.SymbolType =
com.sun.star.chart.ChartSymbolType.SYMBOL1

'Dim col As New com.sun.star.awt.Gradient
'col.Style = com.sun.star.awt.GradientStyle.LINEAR
'col.StartColor = RGB(255,0,0)
'col.EndColor = RGB(0,255,0)
'col.StartIntensity = 150
'col.EndIntensity = 150
'col.Angle = 450

```

```

'col.StepCount = 100

'dataSeries = .Diagram.GetDataRowProperties(0)

'dataSeries.FillStyle = com.sun.star.drawing.FillStyle.GRAIENT
'dataSeries.FillGradient = col

'Modifie la couleur de fond du graphique
.Diagram.wall.FillColor =RGB(150,150,150)

'Spécifie la valeur maxi de l'étiquette des ordonnées
'.Diagram.YAxis.Max = 50000

'Attribue un titre à l'axe des abscisses
.Diagram.HasXAxisTitle = True
.Diagram.XAxisTitle.string = xlabel

'Attribue un titre à l'axe des ordonnées
.Diagram.HasYAxisTitle = True
.Diagram.YAxisTitle.string = ylabel

'La première ligne(colonne) contient les étiquettes des séries
.DataSourceLabelsInFirstColumn = firstColIsLabel
.DataSourceLabelsInFirstRow = firstRowIsLabel

'Roration des étiquettes pour l'axe des abscisses
.Diagram.XAxis.TextRotation = 9000 '90 degrés

'redéfinit la taille des étiquettes pour les abscisses et les
ordonnées
.Diagram.YAxis.CharHeight = 8
.Diagram.XAxis.CharHeight = 8

'Attribue un titre au graphique puis un couleur à la chaîne de
caractères
.HasLegend = hasLegend
.HasMainTitle = True
.Title.String = benchName
.Title.CharColor = RGB(200,0,0)
.Title.CharHeight =16

End With
end sub

```

Figure 13 : Macro de génération des diagrammes

13 Documentation Doxygen dans Ottawa

14 Guide d'utilisation de l'outil de calcul de l'énergie

L'utilisation de l'outil consiste en une ligne de commande. Nous allons considérer 2 cas, un sans SPM et l'autre avec SPM.

Dans le cas sans SPM, voici des exemples de commande :

- ./simulatorConso --processorConfig config1.xml --cacheConfig idcache.xml ~/benchs/fir/fir

Lance le simulateur avec la configuration processeur config1.xml, la configuration des caches idcache.xml, avec une hiérarchie mémoire par défaut composée uniquement d'une DRAM de 4Go, sur le bench fir

- ./simulatorConso --processorConfig config1.xml --cacheConfig idcache.xml --memoryConfig memory.xml ~/benchs/fir/fir

Lance le simulateur comme précédemment mais avec une hiérarchie mémoire donnée que l'on supposera sans SPM.

Lorsqu'une de ces commandes sera exécutée, l'affichage obtenu ressemblera à ceci :

```
Cache path: ./MORE/LORIA/simuLoria/idcache.xml

Info: (I804) /IEEE_Std_1666/deprecated: sc_sensitive_neg is deprecated use sc_sensitive << with neg() instead

Info: (I804) /IEEE_Std_1666/deprecated: sc_sensitive_pos is deprecated use sc_sensitive << with pos() instead
-----run-----
j'ai une hiérarchie mémoire par défaut

Info: (I804) /IEEE_Std_1666/deprecated: sc_start(double) deprecated, use sc_start(sc_time) or sc_start()

      Stats from the cache system
*****
Instruction Cache      Data Cache
-----
Number of cache accesses      14361      3472
Number of cache hits          14236      3382
Number of cache misses        125        90
Number of cache reads          14361      2429
Number of cache writes         0          1043
nbr of c. read misses dirty   0          0
nbr of c. write misses dirty  0          0
-----

      Stats from the memory
*****
SPM      DRAM
-----
Number of accesses              680
Number of READ accesses         680
Number of WRITE accesses        0
Number of SPM successes
Number of SPM fails
-----

      Cacti energy unit (in nJ)
*****
READ      WRITE
-----
icache :      0.0407833      0.0440015
dcache :      0.00572382      0.00516604
spm :      no specified      no specified
DRAM :      44.7483      44.7421
-----

      Energy estimation (in nJ)
*****
ALL      READ      WRITE
-----
energy total :      31033.8
energy CPU :      0
energy BUS :      0
energy memory :      31033.8      31028.4      5.38818
```

energy icache :	585.689	585.689	0
energy dcache :	19.2913	13.9032	5.38818
energy SPM :			
energy DRAM :	30428.8	30428.8	0
energy decomp :	0		

Figure 14 : Exemple de sortie du simulateur de consommation

Dans le cas où l'on veut utiliser une SPM, il faudra alors procéder en 2 étapes. La 1er étape consiste à utiliser l'option « `--accessDump targetFile.access` » qui permet d'enregistrer les accès aux données dans un fichier :

- `./simulatorConso --processorConfig config1.xml --cacheConfig idcache.xml --accessDump ~/benchs/fir/data.access ~/benchs/fir/fir`

Cette commande va enregistrer dans le fichier la suite des adresses des accès aux données dans le fichier `~/benchs/fir/data.access`

La 2ème étape consiste maintenant à précharger le fichier avant de lancer la simulation grâce à l'option « `--loadAccess targetFile.access --spmPolicy [firstUsed|highFrequency|smallSizeFirst|highFrequencyOnSize]` » :

- `./simulatorConso --processorConfig config1.xml --cacheConfig idcache.xml -memoryConfig memory.xml --loadAccess ~/benchs/fir/data.access --spmPolicy high-Frequency ~/benchs/fir/fir`

Cette commande va lancer la simulation en chargeant la SPM (qu'on suppose configurée dans le fichier `memory.xml`) à partir du fichier `~/benchs/fir/data.access` dont les adresses auront été triées par nombre d'apparitions.

L'affichage obtenu ressemblera à ceci :

```
MEMORY
- BANKS
  0: SCRATCH PAD MEMORY 1
     address = 0x00000000|0x00000000, BlockSize = 4, size = 100, SPM
     on chip, writable
  1: DRAM 1
     address = 0x00000000|0x00001000, BlockSize = 4, size = 1000000,
DRAM
     cached, on chip, writable

- BUSES
  0: Bus1, LOCAL
Opening of /home/maha/Bureau/MORE/benchs/fir/data.access

Info: (I804) /IEEE_Std_1666/deprecated: sc_sensitive_neg is
deprecated use sc_sensitive << with neg() instead

Info: (I804) /IEEE_Std_1666/deprecated: sc_sensitive_pos is
deprecated use sc_sensitive << with pos() instead
-----run-----
j'ai une hiérarchie mémoire

Info: (I804) /IEEE_Std_1666/deprecated: sc_start(double) deprecated,
use sc_start(sc_time) or sc_start()

      Stats from the cache system
*****
-----
Instruction Cache      Data Cache
-----
Number of cache accesses  14361      0
```



```

Number of cache hits          14236          0
Number of cache misses       125            0
Number of cache reads        14361          0
Number of cache writes        0            0
nbr of c. read misses dirty  0            0
nbr of c. write misses dirty  0            0
-----
                Stats from the memory
*****
                                SPM          DRAM
-----
Number of accesses            4328          500
Number of READ accesses       3041          500
Number of WRITE accesses      1287           0
Number of SPM successes       3472
Number of SPM fails           0

                Cacti energy unit (in nJ)
*****
                                READ          WRITE
-----
icache :          0.0407833    0.0440015
dcache :          0.00572382   0.00516604
spm :             0.00167341    0.00119395
DRAM :           13.6486        13.6425
-----

                Energy estimation (in nJ)
*****
                                ALL          READ          WRITE
-----
energy total :          7416.6
energy CPU :            0
energy BUS :            0
energy memory :         7416.6    7415.06    1.53661
energy icache :         585.689    585.689    0
energy dcache :          0          0          0
energy SPM :             6.62545    5.08884    1.53661
energy DRAM :           6824.28    6824.28    0
energy decomp :          0

```

Figure 15 : Autre exemple de sortie du simulateur de consommation d'énergie