

« Etude des algorithmes » du
module eMouve en conditions
contrôlées :

détection des activités physiques en
conditions habituelles de vie à l'aide
de smartphones

**Robert Boualit¹, Martine Duclos^{2,6},
Gérard Fleury³, Romain Guidoux⁴,
Philippe Lacomme⁵, Nicolas Lamaudière^{2,6}
Alice Leclerc⁴, Sylvie Rousset⁴**

Rapport interne de recherche

21 novembre 2012

COLLABORATEURS

1

Almerys,
Service santé,
46 rue du Ressort, 63009 Clermont-Ferrand Cedex 1
robert.boualit@almerys.com

2

CHU de Clermont-Ferrand,
Service de médecine du sport et des explorations fonctionnelles,
58 rue Montalembert, 63000 Clermont-Ferrand
mduclos@chu-clermontferrand.fr
nlamaudiere@chu-clermontferrand.fr

3

Université Blaise Pascal
Laboratoire de Mathématiques UMR CNRS 6620,
Campus des Cézeaux, 63177 Aubière Cedex
fleury@math.univ-bpclermont.fr

4

INRA
Institut National de la Recherche Agronomique,
Unité de Nutrition Humaine UMR 1019,
Equipe Contrôle de l'Homéostasie Lipido-Energétique et Obésité dirigée par Béatrice Morio
58 rue Montalembert, 63000 Clermont-Ferrand
romain.guidoux@clermont.inra.fr
alice.leclerc@clermont.inra.fr
sylvie.rousset@clermont.inra.fr

5

Université Blaise Pascal
Laboratoire d'Informatique (LIMOS) UMR CNRS 6158,
Campus des Cézeaux, 63177 Aubière Cedex
placomme@isima.fr

6

Université d'Auvergne
49, boulevard François-Mitterrand,
B.P. 32,
63001 Clermont-Ferrand

RESUME

L'**obésité** et la **sédentarité** ne cessent de croître depuis plusieurs années. L'INRA dispose actuellement de méthodes coûteuses et/ou lourdes à mettre en œuvre afin d'estimer la dépense énergétique en conditions contrôlées ou en conditions habituelles de vie. L'objectif de ce projet est de pouvoir reconnaître les **activités physiques de faible et moyenne intensités** et d'estimer la **dépense énergétique** des volontaires en conditions habituelles de vie en utilisant des **smartphones**, qui sont équipés d'**accéléromètres**.

Le projet se compose de 2 grandes étapes : l'étude, qui permet de mettre au point un algorithme (nommé AEDES, pour « Algorithme d'Estimation de la Dépense Energétique sur Smartphone ») et de le valider ; et l'industrialisation, assurée par Almerys. L'étude se divise elle-même en 3 phases : une étude préliminaire, qui a fait l'objet d'un précédent rapport [FLEU 12], l'étude de l'algorithme en **conditions contrôlées**, qui fait l'objet du présent rapport, et l'étude de l'algorithme et sa validation en conditions habituelles de vie. L'objectif de l'étude en conditions contrôlées est de tester l'algorithme sur 12 volontaires normo-pondéraux pour estimer leur dépense énergétique. Celle-ci a été comparée aux estimations de deux capteurs de recherche (Armband et Actiheart).

Les résultats montrent que l'écart entre la dépense énergétique de référence et la dépense énergétique estimée par AEDES est de 3.2%, contre 6.3% pour le capteur Armband et 13.9% pour le capteur Actiheart. De plus, il se trouve qu'AEDES obtient des performances équivalentes chez les hommes (4.1%) et chez les femmes (2.2%). Les résultats d'Armband et d'AEDES sont donc similaires et proches de la mesure de référence. Ces résultats ont été obtenus en détectant des activités telles que la marche normale et rapide. On peut noter que la reconnaissance des activités est un point délicat de l'algorithme qui méritera d'être amélioré.

L'algorithme sera prochainement validé sur 6 autres volontaires normo-pondéraux en conditions habituelles de vie. Il est probable que cette étude conduise à le modifier, l'améliorer ou l'adapter.

Les algorithmes ont donné lieu à une implémentation en Java au sein du module eMouve. Ce module n'est actuellement pas en service au sein d'ActivCollector car l'INRA est en attente des autorisations de la CNIL. Les données ont été collectées sur un téléphone et récupérées manuellement (via une connexion USB) sur un PC de développement : l'algorithme a été exécuté au sein de l'environnement de développement Eclipse. Selon toute vraisemblance, et sauf accord rapide de la CNIL sur ActivCollector, la récupération des données et le traitement des données d'accélérométrie sur les 6 autres volontaires se fera aussi selon ce mode de travail « manuel ».

Mot clés : obésité, sédentarité, activités physiques de faible et moyenne intensité, dépense énergétique, smartphones, accéléromètres, conditions contrôlées.

ABSTRACT

Obesity and sedentary lifestyles are constantly increasing for many years. INRA currently uses expensive and/or complex methods in order to estimate energy expenditure in controlled conditions or in free-living conditions. The aim of the project is to recognize **low to moderate physical activities** and to estimate volunteers' **energy expenditure** in free-living conditions by using **smartphones**, equipped with **accelerometers**.

The project consists of 2 main steps: the study, for creating an algorithm (named AEDDES in French, for “Energy Expenditure Estimation Algorithm On Smartphone”) and validating it, and industrialization undertaken by Almerys. The study consists of 3 sub-steps: a preliminary study, described in [FLE 12], the test of the algorithm in **controlled conditions**, described in this report, and the validation of the model in free-living conditions. The aim of the study in controlled conditions is to test the model over 12 normal-weight volunteers for estimating their energy expenditure, which has been compared with the estimations provided by two commercialized sensors named Armband and Actiheart.

The results of our study showed that the difference between the energy expenditure estimation provided by our model and the reference one was 3.2%, whereas the estimations provided by Armband and Actiheart were 6.3% and 13.9% respectively. Moreover, our model was equivalent for men (4.1% of error) and women (2.2% of error). Finally, the results of AEDDES were very similar to those of the Armband, and both were similar to the reference energy expenditure. Those results have been obtained by recognizing physical activities such as walking normally or fast. We can notice that activity recognition is a tricky process that should be improved.

The next step consists in validating the model over 6 new normal-weight volunteers in free-living conditions. It is likely that this study will lead to modify, improve or adapt the current model.

The algorithms have been implemented in Java in the eMouve module. This module is not yet running because INRA is waiting for authorizations from the French data protection authority (CNIL). Data has been collected by a smartphone and transferred on a development computer through a USB connection: the algorithm has been executed on the Eclipse IDE. Data collection and its processing over the next 6 volunteers will most probably be made following the same “manual” process, unless the CNIL grants ActivCollector the permission to manage private data.

Keywords: obesity, sedentary lifestyles, low to moderate physical activities, energy expenditure, smartphones, accelerometers, controlled conditions.

TABLE DES MATIERES

..... CONTEXTE SCIENTIFIQUE 7	
1.1	Le projet ActivCollector..... 7
1.1.1	Introduction..... 7
1.1.2	Historique 8
1.1.3	eMouve au sein d'ActivCollector 9
1.2	Contexte du projet eMouve..... 9
1.3	Erratum concernant le rapport de l'étude algorithmique préliminaire 11
1.4	Etude de l'algorithme en conditions contrôlées..... 13
1.5	Conclusion 14
..... DEMARCHE SCIENTIFIQUE ET ENVIRONNEMENT TECHNIQUE 15	
2.1	Contexte du projet eMouve..... 15
2.2	Recrutement et sélection d'un échantillon de volontaires 16
2.2.1	Composition de la population française selon l'INSEE 17
2.2.2	Constitution d'un échantillon de volontaires pour l'étude en conditions contrôlées 17
2.2.3	Critères de recrutement des volontaires 18
2.3	Conception d'un scénario..... 20
2.4	Réalisation du scénario..... 24
2.5	Evaluation des performances de l'algorithme 26
2.6	Environnement technique 27
2.7	Conclusion 29
..... ETUDE DE L'ALGORITHME EN CONDITIONS CONTROLEES 31	
3.1	Traitement des données avant analyse..... 31
3.2	Traitement des données par l'algorithme 31
3.2.1	Principe général 31
3.2.2	Sélection des valeurs de METs pour chaque activité 32
3.2.3	Analyse de la proposition par rapport à la littérature 35
3.2.4	Reconnaissance des activités physiques..... 36
3.2.5	Estimation de la dépense énergétique 39
3.3	Conclusion 43
..... CONCLUSION 45	

Contexte Scientifique

Cette section rappelle le contexte scientifique dans lequel s'inscrit le projet eMouve qui fait l'objet du présent document. Ce document s'inscrit dans la continuité du rapport interne réalisé en Juillet 2012 [FLE 12].

1.1 Le projet ActivCollector

1.1.1 Introduction

Le projet ActivCollector est un projet qui consiste à créer des outils automatisés et sécurisés de recueil, de traitement et de stockage des données à destination des biologistes afin de les assister dans leur travail. Ce système a pour vocation de faciliter la communication entre les médecins, les chercheurs et les volontaires (figure 1-1). C'est un système avec une architecture ouverte dans le sens où elle doit permettre facilement l'ajout de nouvelles fonctionnalités orientées « recherche » telles que l'accueil de nouveaux algorithmes par exemple.

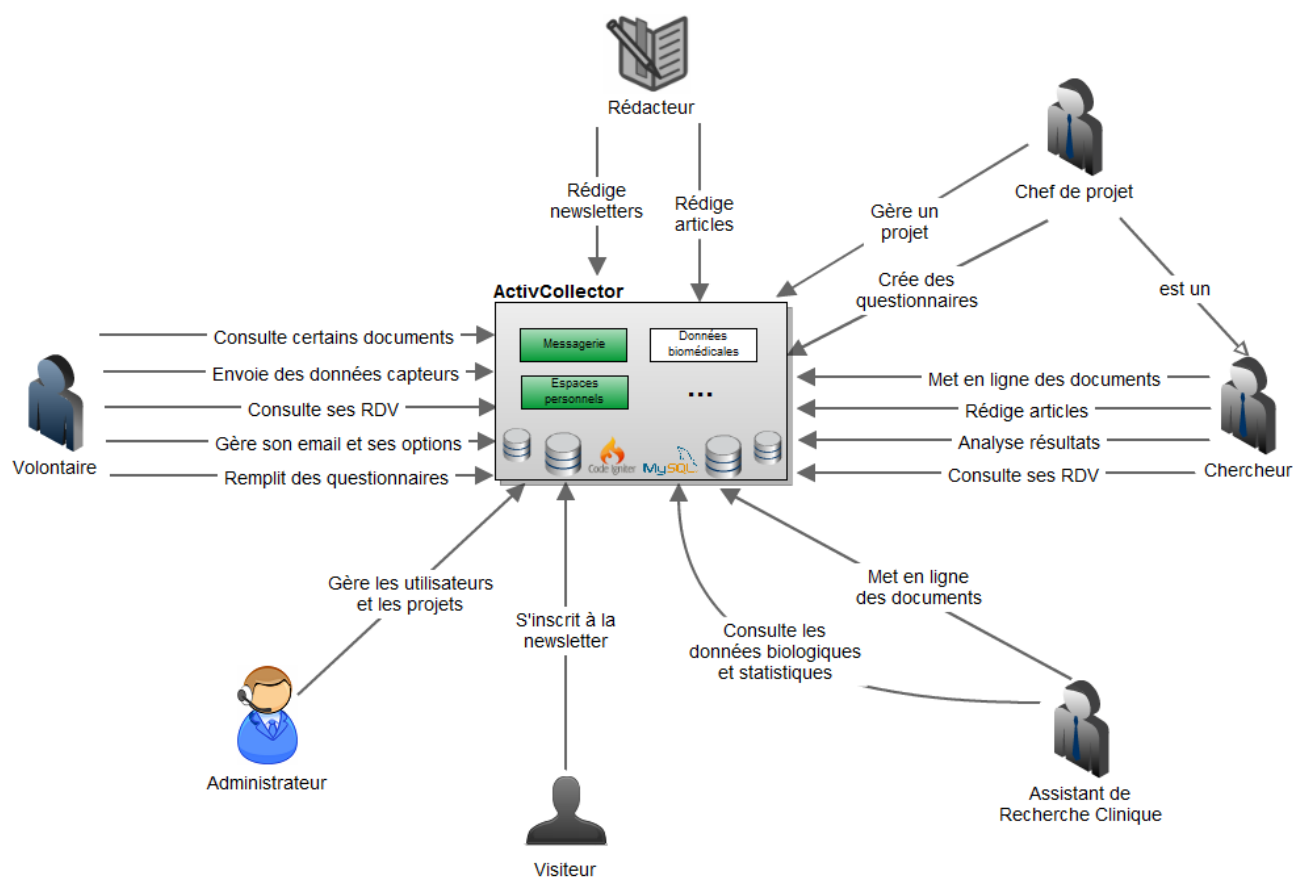


Figure 1-1 : Fonctionnalités et acteurs d'ActivCollector [GUI 11a]

Au 10/06/2012, le système se compose de 8 modules (soit terminés soit en cours de réalisation) dont la liste est présentée sur la figure 1-2. A terme, quatre autres modules devraient rejoindre les modules existants. ActivCollector utilise une gestion des utilisateurs et des volontaires reliée à des bases de données. Plusieurs modules tels qu'« eMouve » et « Traçabilité » font partie d'un ensemble de modules relatifs aux capteurs. Par la suite, le terme « projet eMouve » désignera le module du même nom.

Le site web d'ActivCollector est disponible à l'adresse suivante : <https://www3.clermont.inra.fr/activcollector>

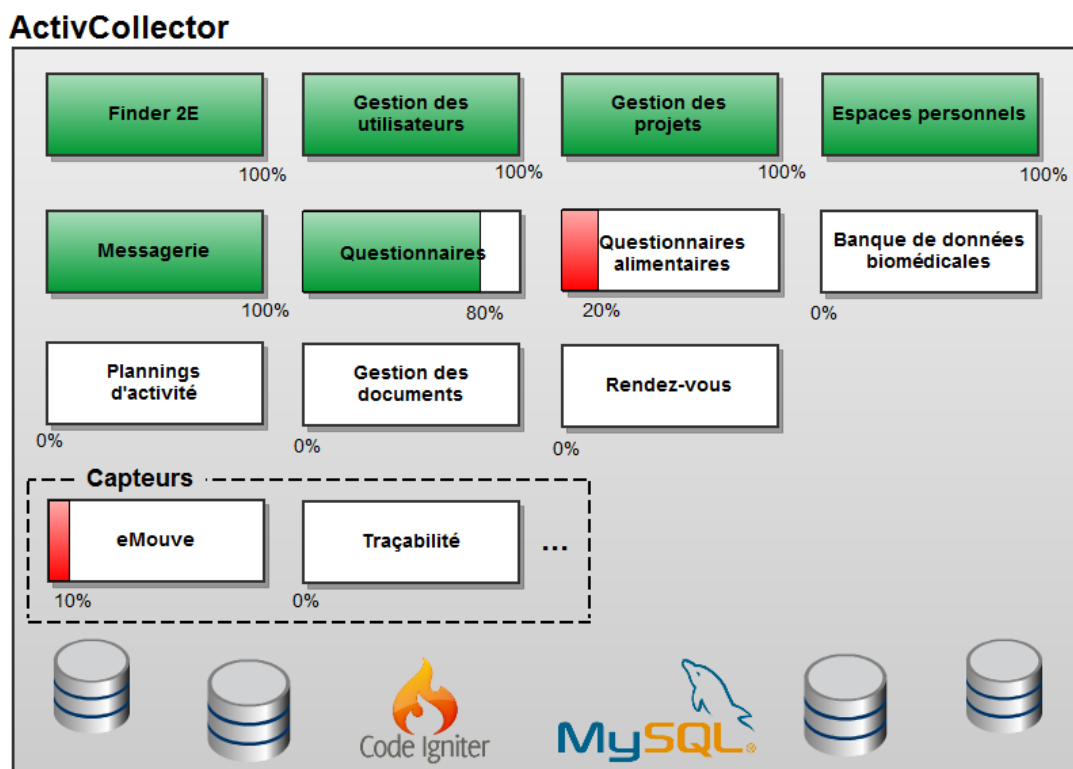


Figure 1-2 : Composition du système ActivCollector au 10/06/2012 [FLE 12]

1.1.2 Historique

Ce projet a été initié en 2009 par la création du logiciel de traitement statistique Finder2E [SPR 10] [LAS 10], dont une version gratuite est disponible à l'adresse suivante : <https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/Finder2E/Presentation>

Il s'est poursuivi par le stage de Naima Kamèche et Olivier Roux [KAM 11] qui a abouti à la création du cahier des charges du système collaboratif d'ActivCollector. Le projet est actuellement maintenu par S. Rousset et R. Guidoux [GUI 11b].

1.1.3 eMouve au sein d'ActivCollector

Le projet eMouve s'intègre dans la partie de gestion de « Capteurs » d'ActivCollector, dont le but est de tirer parti de l'informatique « mobile » pour développer des techniques de collecte de données objectives et spontanées applicables en conditions habituelles de vie.

La faisabilité technique du projet a été réalisée en 2011 par des étudiants en projet sous la responsabilité de S. Rousset et P. Lacomme. Les documents réalisés sont disponibles à l'adresse suivante : <http://www.isima.fr/~lacomme/studentsL3.html>

Historiquement il s'agit du premier travail autour de cette problématique qui a inspiré par la suite la réflexion sur le module mobilité au sein d'ActivCollector.

1.2 Contexte du projet eMouve

Le projet eMouve a commencé en février 2012, par une collaboration entre l'INRA-Unité de Nutrition Humaine, le laboratoire de Mathématiques et le LIMOS. Un premier rapport de recherche interne a été rédigé et diffusé [FLE 12].

En juillet 2012, un contrat a été signé entre 4 partenaires (l'INRA, le CHU de Clermont-Ferrand, l'université d'Auvergne et Almerys).

Le travail est réparti en deux grandes étapes (figure 1-3) :

1. La première, nommée « Etude », concerne le travail scientifique de conception, de recherche d'algorithmes et de validation de l'algorithme. Cette étape est essentiellement assurée par cinq partenaires ou collaborateurs : le LMA, l'INRA, le LIMOS, le CHU et l'université d'Auvergne.
2. La seconde, nommée « Industrialisation », consistera, à partir de la maquette conçue, à développer un produit fini à destination des clients grands comptes (mutuelles, entreprises...). **Cette étape concernera essentiellement la société Almerys.**

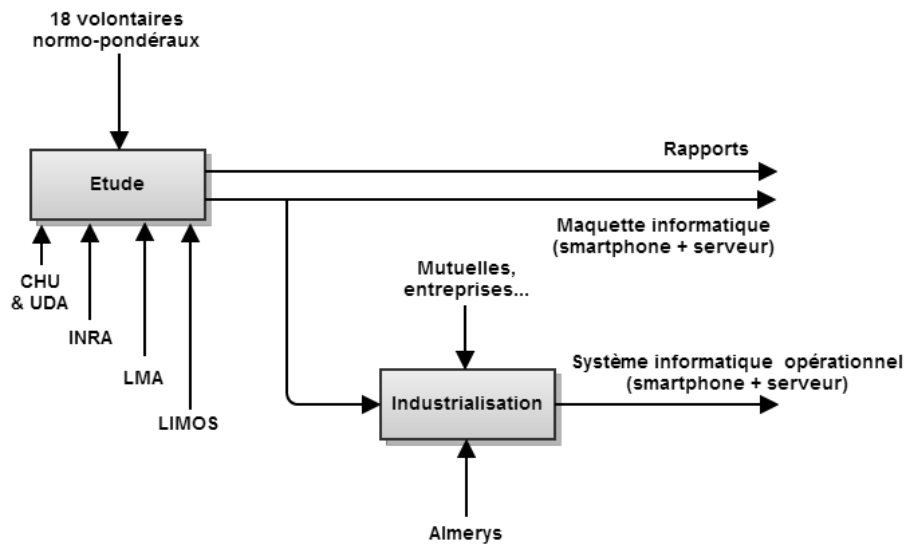


Figure 1-3 : Principales étapes du travail [FLE 12]

Le travail scientifique à réaliser se décompose en trois parties (figure 1-4) :

1. Une « **étude algorithmique préliminaire** » dont l'objectif a été de réaliser un état de l'art des travaux précédents et de proposer un algorithme pour smartphones permettant d'analyser l'activité physique. Les problèmes d'architecture du système informatique font aussi partie de cette étude préliminaire.
2. Une « **étude des algorithmes en conditions contrôlées** » dont l'objectif est de valider les propositions sur un ensemble de 12 volontaires sains normo-pondéraux, et de comparer les performances de l'algorithme pour prédire la dépense énergétique à celles de 2 capteurs commercialisés (Armband et Actiheart).
3. Une « **étude en conditions habituelles de vie** » pendant laquelle l'estimation de la dépense énergétique donnée par le smartphone sera comparée à celles des capteurs Armband et Actiheart.

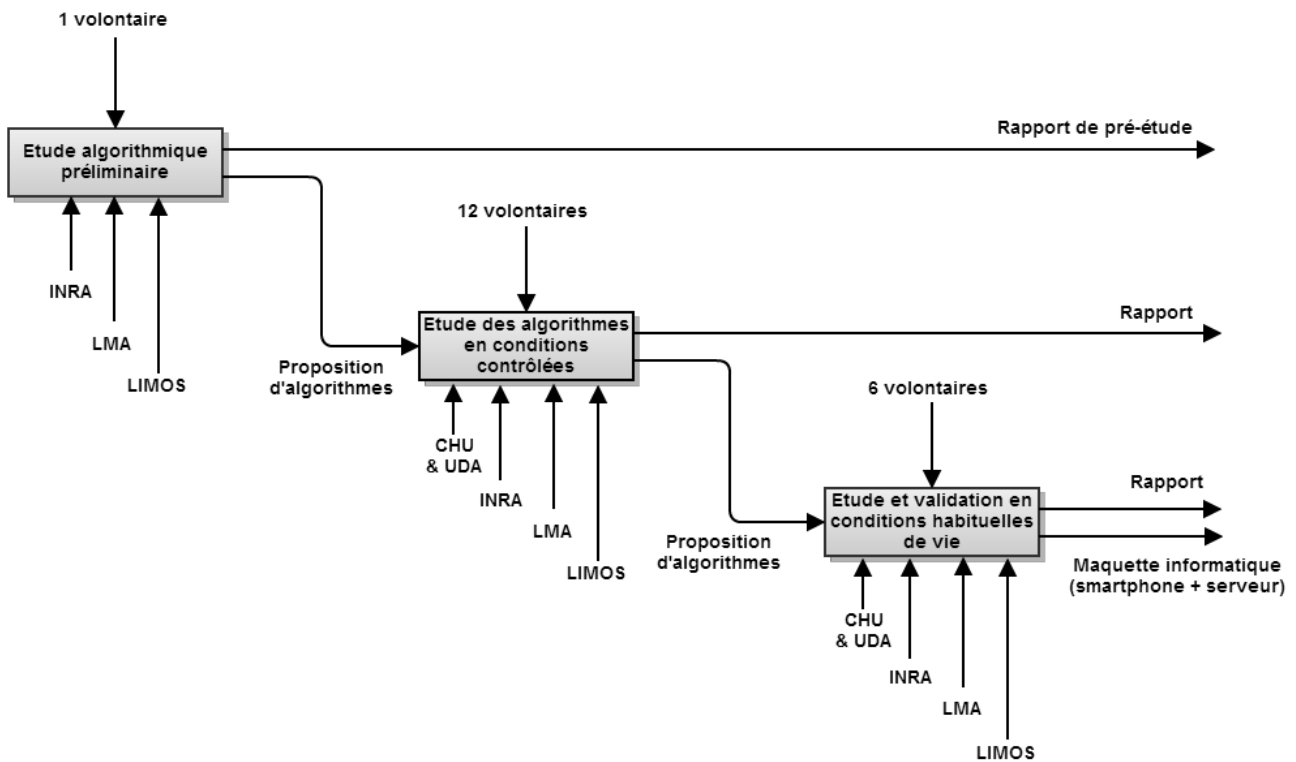


Figure 1-4 : Détails de l'étude

1.3 Erratum concernant le rapport de l'étude algorithmique préliminaire

Un premier rapport de recherche a été rédigé suite à l'étude algorithmique préliminaire [FLE 12]. Dans ce rapport, des données d'accélérométrie ont été collectées sur un sujet masculin de 25 ans, à partir desquelles un premier algorithme de reconnaissance des activités physiques a été établi. Enfin, une estimation de la dépense énergétique du sujet a pu être réalisée à partir des activités reconnues.

Pour ce faire, on a utilisé les valeurs du compendium [AIN 11] permettant d'associer à chaque activité physique une intensité, exprimée en METs (1 MET est l'équivalent du métabolisme énergétique de repos). Ces valeurs peuvent être « corrigées » pour les adapter aux caractéristiques (âge, poids, taille) du volontaire.

La formule de correction des valeurs de MET qui était publiée sur le site Internet était, au moment de la rédaction du rapport précédent (figure 1-5) :

$$\text{Corrected MET value} = \frac{\text{MET value (from Compendium code)}}{\frac{3.5 \text{ ml}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{min}^{-1}}{\text{Harris-Benedict RMR (ml}^{-1}\text{kg}^{-1}\text{min}^{-1})}} \times$$

Figure 1-5 : Formule de correction des METs au moment de la rédaction du précédent rapport [FLE 12]

Or, depuis la formule a été corrigée par leurs auteurs, comme le montre la figure 1-6 :

$$\text{Corrected MET value} = \frac{\text{MET value (from Compendium code)}}{3.5 \text{ ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1}} \times \text{Harris-Benedict RMR (ml kg}^{-1} \text{ min}^{-1})$$

Figure 1-6 : Formule de correction des METs corrigée

La différence se situe dans les unités : il faut utiliser des $\text{ml.kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$ et non des $\text{ml}^{-1}.\text{kg}^{-1}.\text{min}^{-1}$. La formule indiquée page 63 est donc $MET_C = \frac{MET_G * 3.5 \text{ ml}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}}{DE_{MR}}$, et non pas

$$MET_C = \frac{MET_G * DE_{MR}}{3.5 \text{ ml}^{-1} \text{ kg}^{-1} \text{ min}^{-1}}$$

Les valeurs de METs corrigées apparaissant sur les figures 5-10 et 5-11 de la page 65 sont donc également fausses. Les vraies valeurs sont présentées sur les figures ci-dessous :

	MET / min	MET corrigé / min
Assis	1,30	1,3136
Debout	2,30	2,3240
Voiture	1,30	1,3136
Inactivité inconnue	1,30	1,3136
Marche normale	3,50	3,5365
Marche rapide	4,30	4,3448
Activité inconnue	2,50	2,5261

Figure 1-7 : Valeurs générales et corrigées de MET pour différentes activités

Activité	Durée (en min)	Somme des MET	DET (en kcal)
Assis	3,78	4,97	6,69
Marche normale	8,72	30,84	41,54
Assis	1,59	2,09	2,82
Marche normale	4,35	15,37	20,71
Marche rapide	1,86	8,09	10,89
Marche normale	0,53	1,86	2,50
Marche rapide	1,70	7,37	9,93
Marche normale	0,17	0,60	0,81
Marche rapide	0,46	1,98	2,67
Marche normale	0,13	0,47	0,64
Marche rapide	0,34	1,48	2,00
Marche normale	0,91	3,23	4,35
Assis	1,21	1,59	2,14
Activité inconnue	0,06	0,16	0,22
Assis	0,30	0,39	0,53
Activité inconnue	0,05	0,13	0,17
Debout	0,33	0,76	1,02
Marche normale	1,19	4,19	5,65
Assis	5,08	6,67	8,98
Marche normale	0,44	1,54	2,08
Voiture	0,20	0,26	0,35
Activité inconnue	0,04	0,11	0,14
Debout	0,42	0,98	1,32
Activité inconnue	0,04	0,11	0,14
Debout	0,48	1,11	1,50
Marche normale	4,72	16,70	22,50
Assis	24,99	32,83	44,22
Activité inconnue	0,02	0,04	0,06
Voiture	1,10	1,45	1,95
Total	65,20	147,36	198,51

Figure 1-8 : Calcul de la dépense énergétique totale

L'intensité moyenne de l'activité est donc de $\frac{147,36}{65,20} = 2,26$ MET/min, ce qui fait une différence de 3.22% et 3.57% par rapport au Armband et à l'Actiheart, respectivement.

L'estimation de la dépense énergétique totale par l'algorithme est proche de celle d'Actiheart (3,8%) mais plus éloignée de celle du Armband (19,6%).

1.4 Etude de l'algorithme en conditions contrôlées

L'objectif de cette étude est d'affiner l'algorithme mis au point lors de l'étude algorithmique préliminaire en le testant sur 12 personnes normo-pondérales, dont 10 recrutées pour l'occasion.

Cette étude a été menée en demandant aux 12 volontaires de faire un parcours extérieur standardisé, lequel reprend des activités qui ont été jugées pertinentes du point de vue de la dépense énergétique et représentatives de la cible, c'est-à-dire des conditions habituelles de vie ou dit autrement d'une journée type. Sans chercher à être exhaustif, citons les activités de marche, de montée et descente d'escaliers, ainsi que les postures assise et debout statique à l'intérieur ou à l'extérieur d'un moyen de transport.

Les performances de l'algorithme, nommé AEDES (pour « Algorithme d'Estimation de la Dépense Énergétique sur Smartphone »), seront évaluées en comparant la dépense énergétique estimée à celles estimées par deux capteurs de recherche (Actiheart et Armband) ainsi qu'à la dépense énergétique théorique associée au parcours.

Les travaux menés sur un précédent projet Modelheart [ROU 11] ont permis de montrer que les capteurs Armband et Actiheart fournissent des estimations de la dépense énergétique en conditions habituelles de vie avec une erreur de 8,3% et 11,6% par rapport à la méthode de référence (l'eau doublement marquée). Ces deux capteurs (surtout le Armband) sont connus pour fournir des estimations précises de la dépense énergétique chez les personnes normo-pondérales ayant des activités physiques de la vie quotidienne.

1.5 Conclusion

Après avoir créé l'algorithme lors de la première étape [FLE 12], il a été testé grâce aux données d'accélérométrie récoltées sur 12 volontaires normo-pondéraux en conditions contrôlées.

Démarche scientifique et environnement technique

L'objectif de cette section est de présenter la démarche scientifique de la phase d'étude de l'algorithme en conditions contrôlées, et de rappeler l'environnement technique nécessaire au fonctionnement du projet.

2.1 Contexte du projet eMouve

La suite du document concerne exclusivement la partie « Etude des algorithmes en conditions contrôlées » qui constitue la seconde étape de réalisation du projet eMouve (figure 2-1).

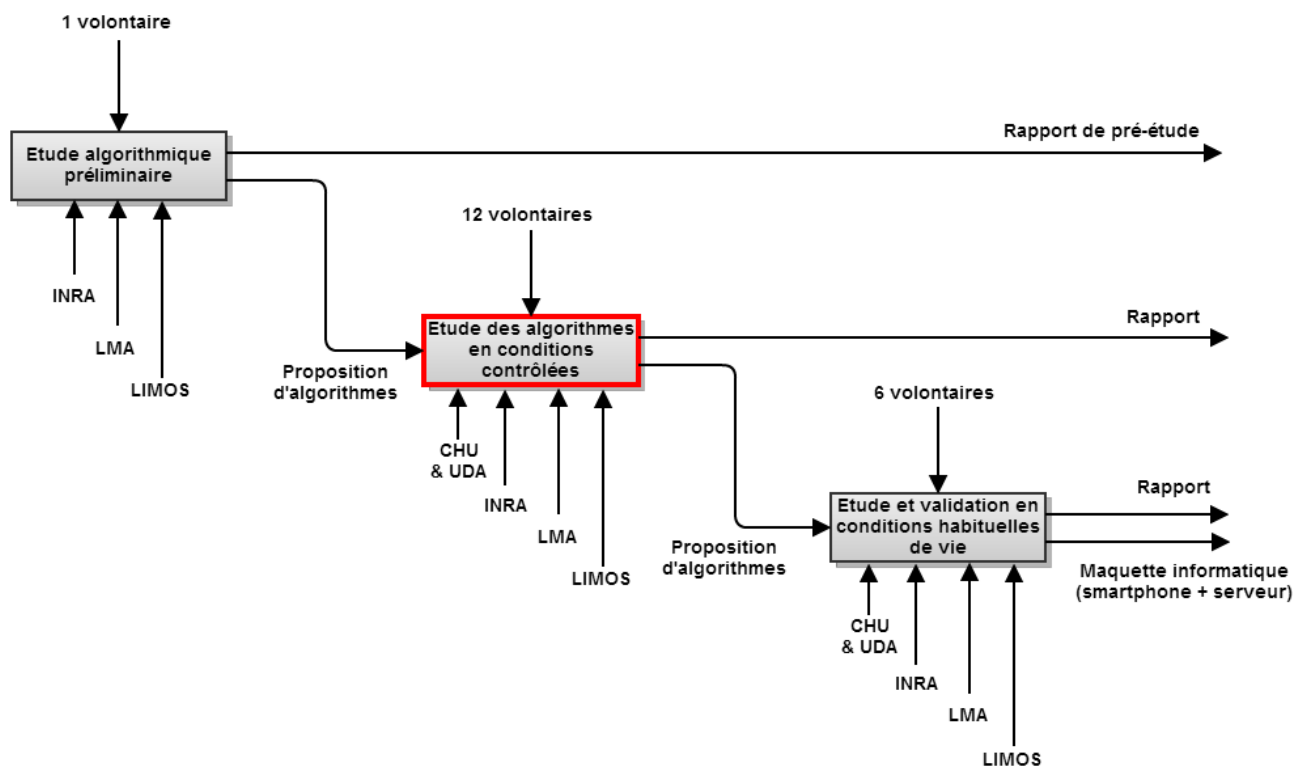


Figure 2-1 : Etapes de l'étude

La phase d'étude des algorithmes en conditions contrôlées se décompose en 4 grandes étapes (figure 2-2), qui vont être détaillées dans ce chapitre.

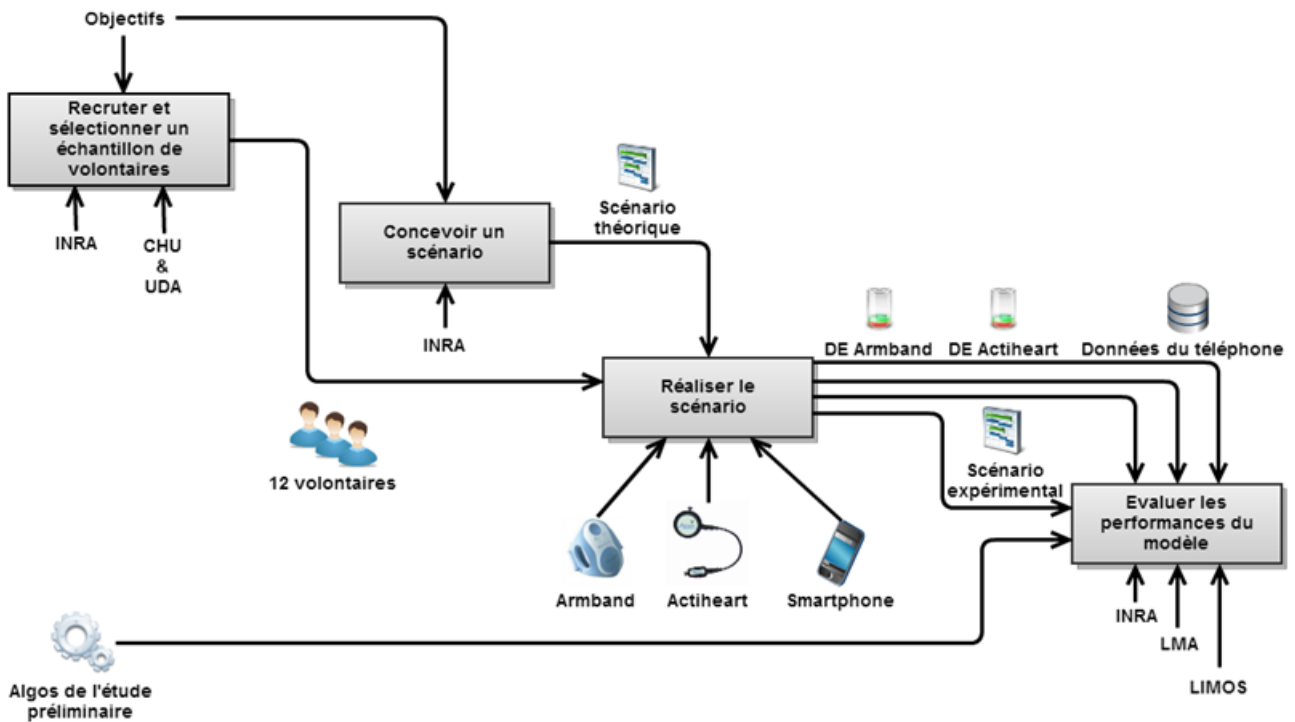


Figure 2-2 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées

2.2 Recrutement et sélection d'un échantillon de volontaires

La première phase a consisté à recruter les volontaires qui ont participé à l'étude en conditions contrôlées (figure 2-3).

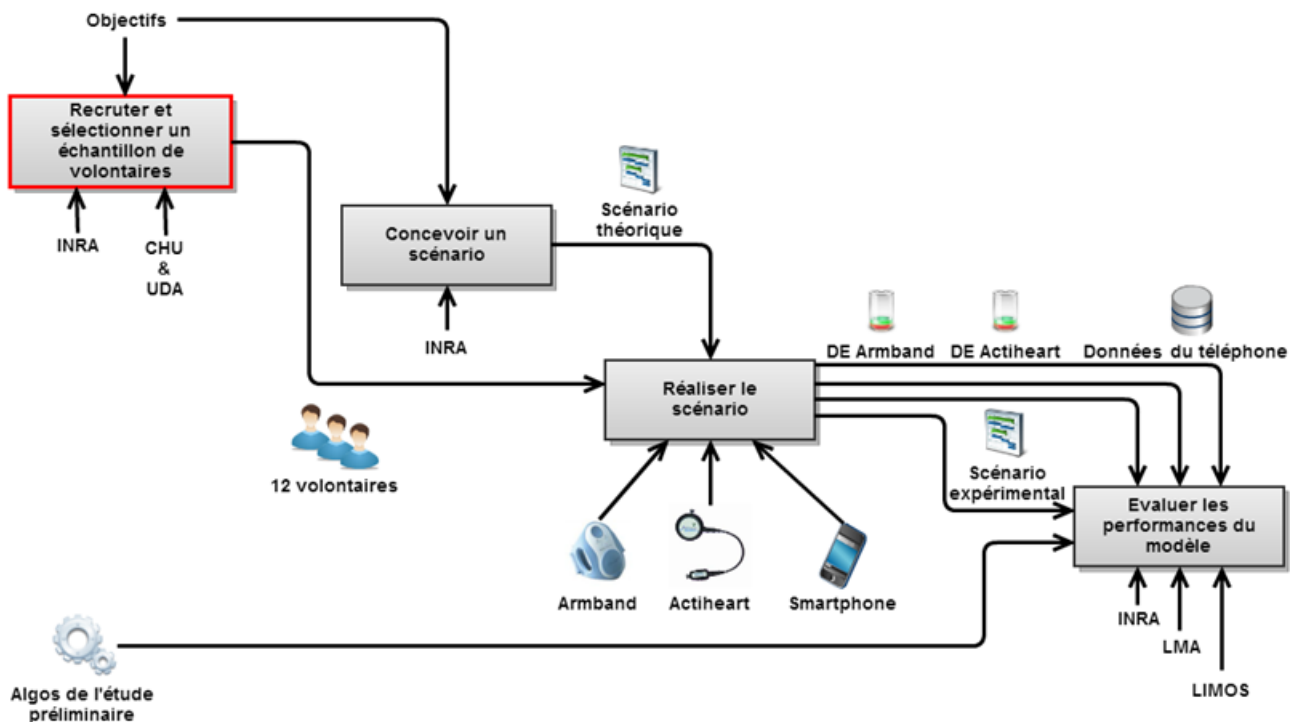


Figure 2-3 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées

2.2.1 Composition de la population française selon l'INSEE

Comme dans toute étude il est nécessaire de construire un échantillon représentatif de la population cible.

La cible de l'étude sont des personnes de 18-60 ans normo-pondérales, des deux sexes. Sont exclues de l'étude les personnes en état de maigreur ou en surpoids / obèses. La répartition statistique en terme d'âge de la population française est donnée par l'Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE) [INS 12] et est présenté sur la figure 2-4.

La tranche d'âge considérée dans cette étude est celle des 18-60 ans car les jeunes sont les plus touchés par l'augmentation de l'obésité ces dernières années et sont friands de nouvelles technologies.

Age	(% de la population totale)		(% des 20-59 ans)	
	Femmes	Hommes	Femmes	Hommes
20-24	6,00%	6,50%	11,72%	12,26%
25-29	6,00%	6,20%	11,72%	11,70%
30-34	6,10%	6,30%	11,91%	11,89%
35-39	6,40%	6,70%	12,50%	12,64%
40-44	6,80%	7,10%	13,28%	13,40%
45-49	6,90%	7,10%	13,48%	13,40%
50-54	6,60%	6,70%	12,89%	12,64%
55-59	6,40%	6,40%	12,50%	12,08%
Total	51,20%	53,00%	100,00%	100,00%

Figure 2-4 : Population française par sexe et groupes d'âges quinquennaux [INS 12]

D'autre part, la taille moyenne des français est de 175 cm et celle des françaises de 163 cm [INS 07].

2.2.2 Constitution d'un échantillon de volontaires pour l'étude en conditions contrôlées

L'échantillon de volontaires pour cette étude se limite à 12 personnes (6 hommes et 6 femmes) saines et normo-pondérales. La taille de l'échantillon est limitée par les ressources matérielles et financières affectées à ce projet et on peut affirmer qu'il eut été intéressant d'accroître significativement la taille de l'échantillon à plusieurs dizaines de volontaires. Cette taille limitée doit être prise en compte par la suite, notamment au moment de l'analyse des résultats.

La répartition des volontaires recrutés selon leur âge est présentée sur la figure 2-5.

Age	Femmes		Hommes	
20-24	1	16,67%	1	16,67%
25-29	1	16,67%	1	16,67%
30-34	2	33,33%	1	16,67%
35-39	0	0,00%	1	16,67%
40-44	1	16,67%	1	16,67%
45-49	0	0,00%	1	16,67%
50-54	1	16,67%	0	0,00%
55-59	0	0,00%	0	0,00%
Total	6	100,00%	6	100,00%

Figure 2-5 : Population recrutée par sexe et groupes d'âges quinquennaux

On peut constater que l'âge des volontaires masculins et féminins est donc plutôt bien distribué et proche de la population française prise en compte.

D'autre part, la taille moyenne des volontaires hommes est très proche (0.67%) de la taille moyenne des français. La taille moyenne des volontaires femmes est par contre plus élevée (4.91%) que la moyenne des françaises (figure 2-6).

	INSEE [INS 07]	eMouve	Ecart
Taille moyenne des hommes	175 cm	173,83 cm	0,67%
Taille moyenne des femmes	163 cm	171 cm	4,91%

Figure 2-6 : Taille moyenne des hommes et des femmes dans la population française et dans la population recrutée

Il faut néanmoins rappeler que les statistiques réalisées sur cet échantillon ne sont que des estimateurs des valeurs réelles liées à la population française. Ces estimateurs sont plus ou moins précis selon la taille de l'échantillon.

2.2.3 Critères de recrutement des volontaires

Le recrutement a commencé après avoir obtenu l'agrément du comité de protection des personnes (CPP Sud-Est VI - référence AU979) et de l'agence nationale de sécurité du médicament et des produits de santé (ANSM).

Les critères d'inclusion utilisés pour le recrutement ont été les suivants :

- Les volontaires devaient avoir entre 18 et 60 ans.
- Leur indice de masse corporelle (IMC) devait être compris entre 18.5 kg/m² et 25 kg/m².

L'IMC se calcule de la façon suivante : $IMC = \frac{Poids(kg)}{Taille(m)^2}$.

- Ne pas présenter de pathologie cardiaque.

- Ne pas présenter de pathologie locomotrice.
- Etre considérés comme sains à la suite d'un examen clinique et d'un interrogatoire médical.
- Les femmes ne doivent pas être enceintes. Un test β -HCG a donc été réalisé.
- Etre assujetti à un régime de sécurité sociale.
- Avoir un électrocardiogramme normal au repos.
- Avoir une tension artérielle normale (<140/90 mm Hg) avec ou sans traitement.
- Signer une fiche d'information et de consentement.

Les critères d'exclusion étaient quant à eux les suivants :

- Altération de l'état général, problèmes respiratoires ou cardio-vasculaires pouvant contre-indiquer la réalisation pour la marche, montée/descente d'escalier et course lente.
- Décompensation cardiaque ou infarctus du myocarde connu.
- Pathologies infectieuses en cours.
- Exclusion des femmes enceintes ou allaitantes.
- Intervention chirurgicale lourde dans les 6 mois précédents.
- Personnes sous tutelle.
- Refus d'être inscrit sur le fichier national des volontaires.
- Personnes en période d'exclusion d'une autre étude, ou ayant perçu plus de 4500€ dans l'année suite à sa participation à des études cliniques.

Les examens cliniques ont été réalisés par Nicolas Lamaudière, Docteur en médecine au CHU de Clermont-Ferrand, dans le service de médecine du sport et des explorations fonctionnelles.

La figure 2-7 présente les caractéristiques individuelles des 12 volontaires recrutés ainsi que les moyennes et les écart-types de chaque caractéristique.

Volontaire	Sexe	Age	Taille (cm)	Poids (kg)	IMC (kg/m ²)
1	H	20	174	64	21,14
2	F	31	171	64	21,89
3	H	41	172	72	24,34
4	F	26	157	55	22,31
5	H	32	175	67	21,88
6	H	25	176	71	22,92
7	F	43	177	64	20,43
8	F	30	183	67,5	20,16
9	H	38	174	67	22,13
10	H	49	172	70	23,66
11	F	50	170	60	20,76
12	F	24	168	57	20,20
Moyenne		34,08	172,42	64,88	21,82
Ecart-type		9,56	5,94	5,13	1,30

Figure 2-7 : Caractéristiques de l'échantillon recruté durant la phase d'étude des algorithmes en conditions contrôlées

2.3 Conception d'un scénario

La seconde phase a consisté à concevoir un scénario qui soit représentatif des activités à étudier et qui puisse être réalisé par tous les volontaires (figure 2-8).

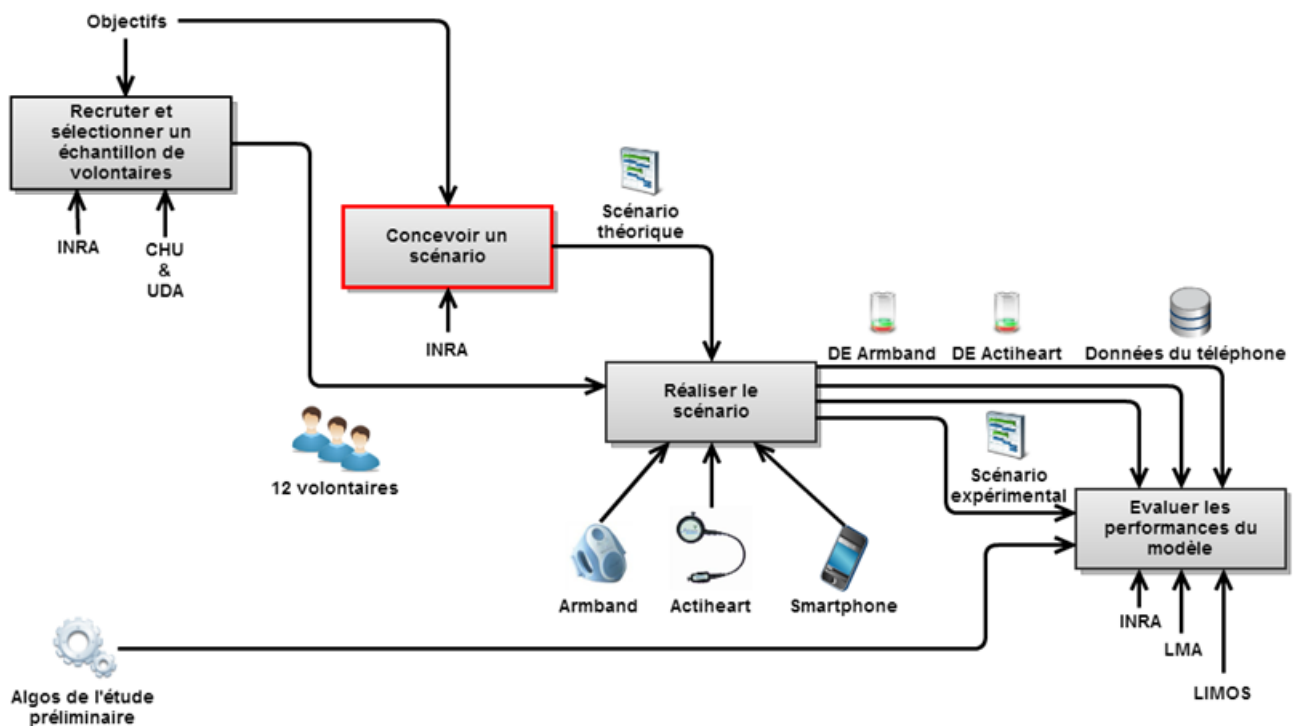


Figure 2-8 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées

On définit un scénario comme un ensemble ordonné d'activités qui possèdent chacune une durée d'exécution. Ce scénario est dit **théorique** car, pour des raisons évidentes, les volontaires ne

peuvent pas réaliser exactement le même scénario (chacun a son propre rythme de marche par exemple).

Le scénario a été conçu de façon à intégrer les activités physiques jugées pertinentes pour l'étude, ainsi que d'autres activités de la vie quotidienne. Le volontaire a reçu la consigne de :

- Marcher à différents rythmes :
 - Marche lente : Comme si le volontaire marchait avec une personne âgée.
 - Marche normale : Telle que pratiquée dans la vie de tous les jours.
 - Marche rapide : Comme si le volontaire était en retard à un rendez-vous.
- Monter et descendre des escaliers, à son propre rythme.
- Courir sans hâte.
- Rester assis (à lire ou travailler).
- Rester debout (en attendant le tramway ou à un feu rouge).
- Prendre le tramway (en posture debout ou assise).

Le scénario, présenté sur les figures ci-dessous, est d'une durée de 1h30 environ.

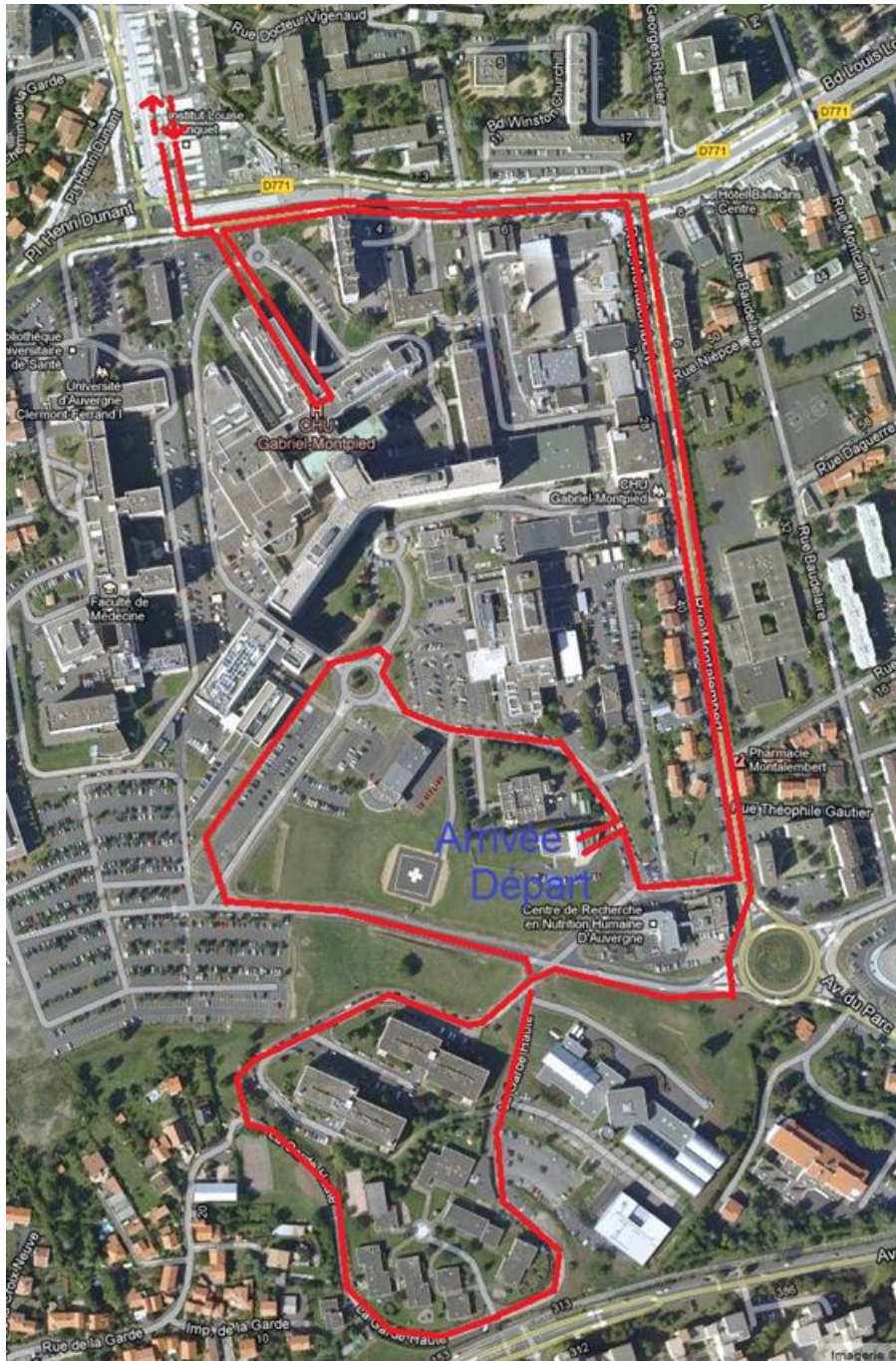


Figure 2-9 : Plan du parcours d'une heure et demie effectué 2 fois par chaque volontaire

Activité	Durée approx.	Lieu
Assis	5 min	LNH
Marche normale	10 s	LNH
Descente d'escaliers (1 étage)	20 s	LNH
Marche normale	1 min	LNH
Marche lente	2 min	Rue Montalembert
Marche rapide	2 min	Rue Montalembert
Marche normale	1 min 45s	Rue Montalembert
Marche normale 1' 	2 min 45s	Boulevard Winston Churchill
Marche normale	1 min	Enceinte du CHU
Marche normale	1 min	CHU
Montée d'escaliers (8 étages)	3 min	CHU
Assis	5 min	CHU
Descente d'escaliers (8 étages)	3 min	CHU
Marche normale	2 min	Enceinte CHU - Bd Winston Churchill
Debout statique	5 min	Station Saint-Jacques Loucheur
Tramway	7 min	
Debout statique	5 min	Station Maison de la Culture
Tramway	7 min	
Marche normale	1 min	Boulevard Winston Churchill
Debout statique	2 min	Boulevard Winston Churchill
Course	2 min	Boulevard Winston Churchill
Marche normale	3 min	Rue Montalembert
Marche lente	2 min	Rue Montalembert
Marche normale	3 min	Rue Montalembert
Marche normale (en côte)	3 min	Enceinte du CMP
Marche normale	5 min	Enceinte du CMP
Marche normale (en descente)	1 min 15s	Enceinte du CMP
Marche normale	3 min	Enceinte du CHU
Marche rapide	3 min	Enceinte du CHU
Marche normale	2 min	Enceinte du CHU
Marche normale	5 s	LNH
Montée d'escaliers (1 étage)	20 s	LNH
Marche normale	10 s	LNH
Assis 1' 	20 min	LNH



Simulation d'un appel téléphonique



Simulation de l'utilisation des applications du téléphone

Figure 2-10 : Planning détaillé des activités du scénario, tel que présenté au comité de protection des personnes (CPP)

Afin de collecter des données avec les axes de l'accéléromètre du smartphone dans différentes positions, le scénario théorique doit être réalisé 2 fois :

- La première avec le téléphone dans la poche gauche du pantalon, écran contre la cuisse et tête vers le haut.

- La seconde avec le téléphone dans la poche gauche du pantalon, écran contre la cuisse et tête vers le bas.

Ces deux réalisations du scénario avec des positions initiales du téléphone différentes d'une fois sur l'autre ont pour objectif de vérifier que les algorithmes fournissent des résultats cohérents quelle que soit la position du téléphone dans la poche.

Par facilité de langage, dans la suite de ce document le terme « scénario théorique » désignera le scénario présenté sur la figure 2-10, répété 2 fois.

2.4 Réalisation du scénario

La troisième phase a consisté à demander aux volontaires de « réaliser » le scénario conçu lors de la phase précédente (figure 2-11).

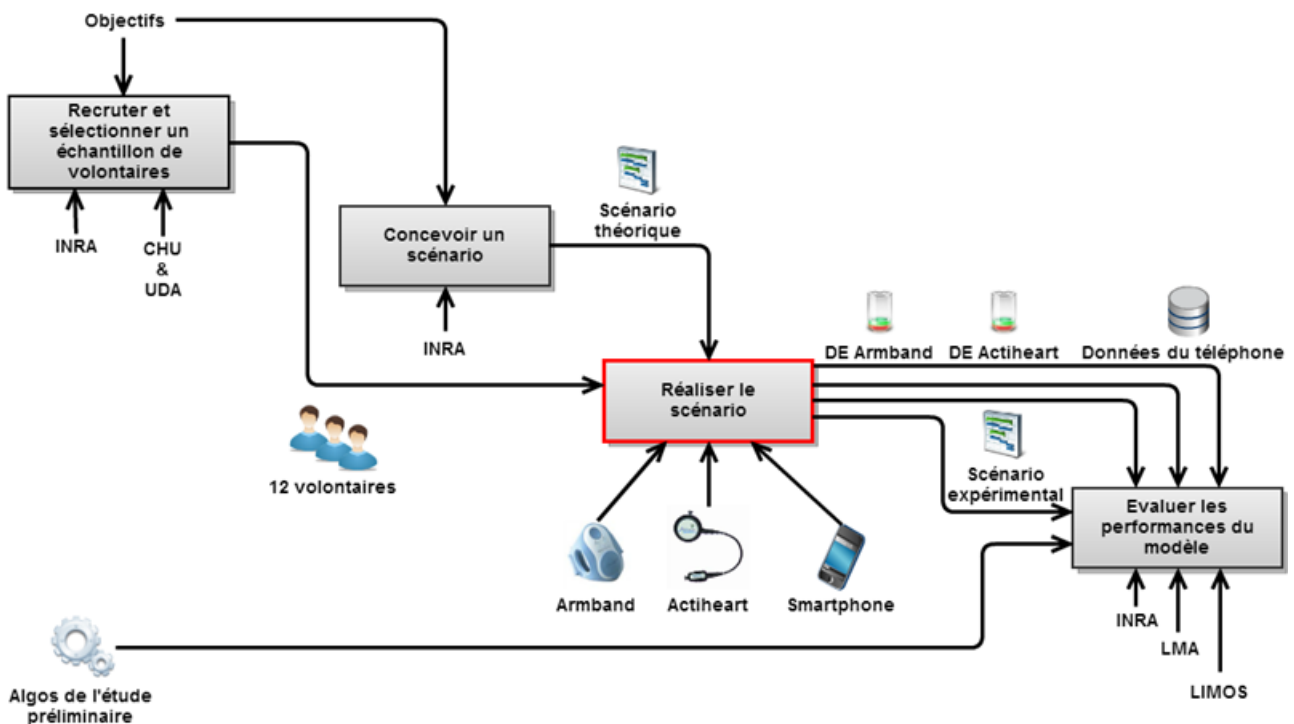


Figure 2-11 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées

Le scénario théorique est un ensemble ordonné d'activités qui possèdent chacune une durée. Pour diverses raisons, telles que le rythme propre au volontaire, l'heure d'arrivée du tramway à la station ou autres, chaque volontaire a effectué un scénario légèrement différent. Ainsi, les durées ou l'ordonnancement des activités sont légèrement différents selon le volontaire. Les scénarii propres à chaque volontaire sont appelés « scénarii expérimentaux » dans la suite de ce rapport (figure 2-12).

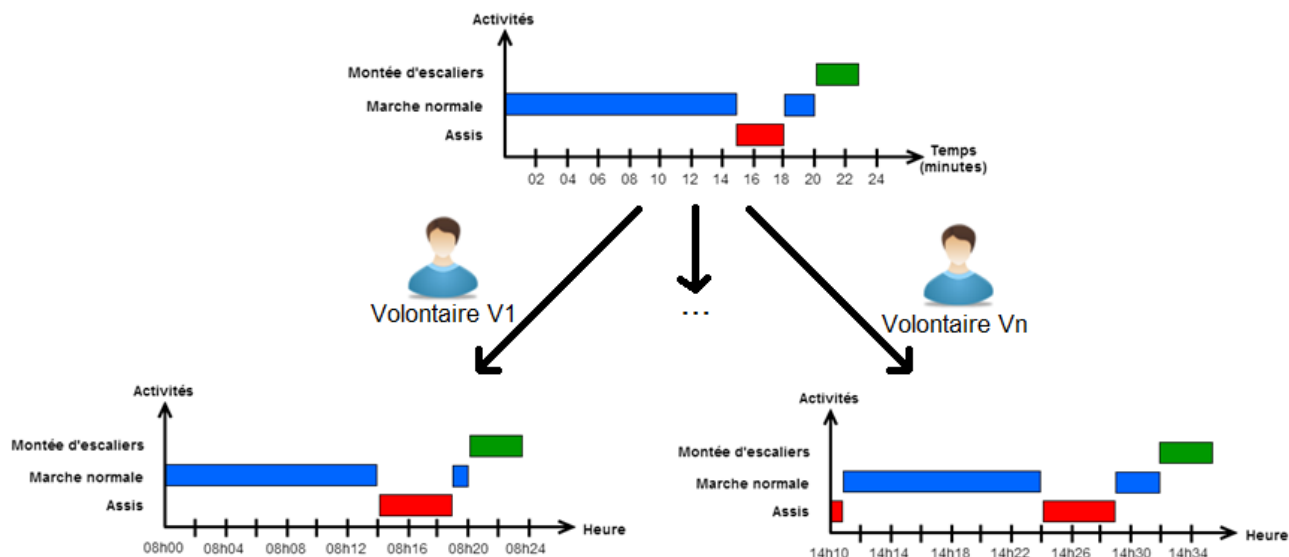


Figure 2-12 : Scénarii expérimentaux propres à chaque volontaire, basés sur le scénario théorique

Durant la réalisation du scénario, les volontaires étaient suivis par un chercheur qui avait à sa disposition un smartphone sur lequel a été implémentée une application de saisie des activités. Cette application a permis d'enregistrer précisément les heures de début de chaque activité réalisée par les volontaires. Ce sont ces annotations qui ont permis de générer les scénarii expérimentaux pour chaque volontaire.

Les volontaires ont dû porter trois capteurs durant leur scénario expérimental :

- Un smartphone, qui a servi à collecter des données d'accélérométrie. Le smartphone utilisé par 11 des 12 volontaires est un Samsung Galaxy XCover. Seule une volontaire a utilisé un Samsung Nexus S.

L'application installée sur les smartphones collectait les données d'accélérométrie sans les transmettre à ActivCollector via Internet, pour deux raisons :

- Il ne fallait pas risquer d'avoir des bugs durant la phase de collecte. L'application utilisée se devrait donc d'être la plus simple possible.
- La CNIL n'a pas encore donné son accord pour l'utilisation d'ActivCollector.
- Un Armband, qui se porte au bras droit (figure 2-13) et qui enregistre des données parmi lesquelles l'accélérométrie, la sudation ou encore la position (allongé / debout). Ce capteur est configuré à partir notamment de l'âge, du sexe, de la taille et du poids de chaque volontaire. Le résultat qu'il fournit est une estimation de la dépense énergétique. D'après l'étude Modelheart [ROU 11], ce capteur est très performant lorsque les activités pratiquées sont de faible ou de moyenne intensité.



Figure 2-13 : Port du capteur Armband au bras droit

- Un Actiheart, qui se porte sur le torse (figure 2-14) et qui enregistre des données telles que l'accélérométrie, la fréquence cardiaque, et estime lui aussi la dépense énergétique. D'après l'étude Modelheart [ROU 11], ce capteur est moins performant que le capteur Armband pour les activités de faible et moyenne intensités, mais plus efficace pour les activités de forte intensité. Comme le Armband, ce capteur doit être configuré avec le sexe, l'âge, la taille et le poids des individus.

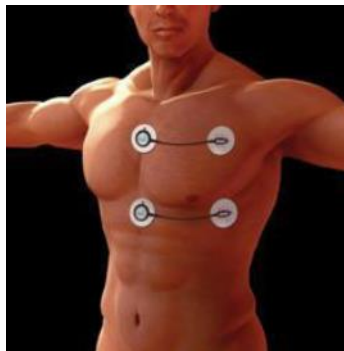


Figure 2-14 : Port du capteur Actiheart [ACT 12]

2.5 Evaluation des performances de l'algorithme

La quatrième et dernière phase a consisté à évaluer l'estimation de la dépense énergétique de l'algorithme proposé par rapport aux estimations des capteurs Armband et Actiheart, ainsi que par rapport à une dépense énergétique de référence (figure 2-15).

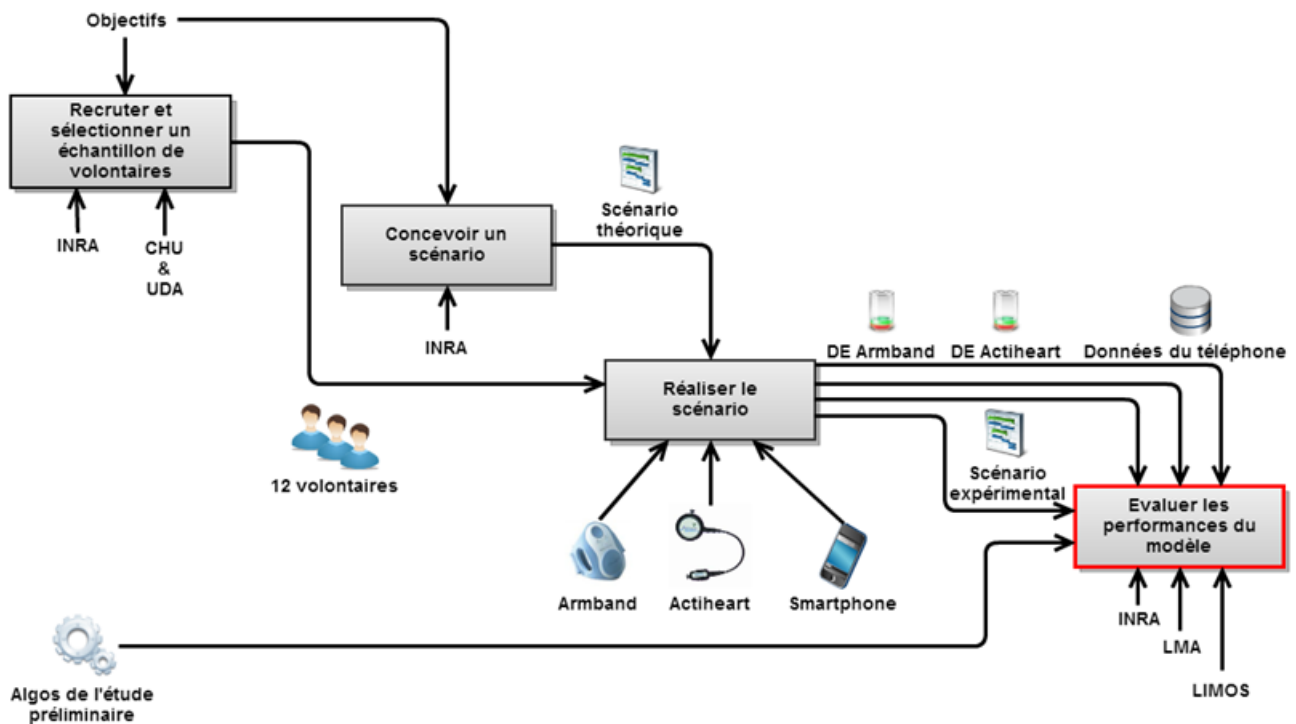


Figure 2-15 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées

Les données d'accélérométrie collectées grâce au smartphone porté par les volontaires ont permis à l'algorithme d'effectuer une reconnaissance des activités physiques, puis d'estimer la dépense énergétique correspondante.

D'autre part, les capteurs Armband et Actiheart fournissent eux aussi une estimation de la dépense énergétique à partir de diverses données, comme cela a été détaillé dans la partie 2.4.

Enfin, les scénarii expérimentaux ont permis de calculer une dépense énergétique de référence pour chaque volontaire. Ces scénarii contiennent en effet toutes les activités réalisées par les volontaires, notées par les chercheurs. Il est donc facile de calculer une dépense énergétique à partir d'activités physiques, comme cela sera détaillé dans la partie 3 de ce rapport.

C'est à partir de toutes ces informations que les performances de l'algorithme ont pu être évaluées.

2.6 Environnement technique

Comme expliqué dans [FLE 12] et dans la partie 1.1.3, le projet eMouve consiste à ajouter une nouvelle fonctionnalité au sein d'un système collaboratif créé par l'INRA-UNH, nommé ActivCollector [KAM 11], [GUI 11b]. Ce projet est conçu comme un module d'ActivCollector. Le système a pour objectifs :

- De permettre une meilleure interaction entre chercheurs, et entre volontaires et chercheurs.

- De gérer les données biomédicales acquises via les projets de recherche clinique.

Le projet eMouve doit permettre à terme de récolter des données en conditions normales de vie. Trois grandes étapes sont nécessaires à la réalisation de ce projet :

- La collecte de données d'accélérométrie par le smartphone.
- L'application de l'algorithme permettant de reconnaître les activités physiques à partir des données d'accélérométrie.
- L'affichage d'informations utiles et pertinentes à l'utilisateur, telles que sa dépense énergétique, le temps passé sur chaque activité, savoir s'il est sédentaire ou non, etc.

Le point faible des smartphones est actuellement leur autonomie, c'est-à-dire la durée pendant laquelle ils peuvent être utilisés grâce à leur batterie. Cette autonomie est fortement dépendante du taux d'activité du processeur, qui varie en fonction des besoins des applications (utilisation du réseau Internet, géolocalisation, calculs...), des capteurs (géolocalisation grâce au GPS, accéléromètre...) et de l'éclairage de l'écran.

Comme l'objectif des travaux est de concevoir des algorithmes pouvant donner lieu à une application informatique utilisable en conditions habituelle de vie, il est souhaitable que la proposition faite prenne en compte cet aspect du problème. C'est la raison pour laquelle les propositions réalisées :

- Se limitent à l'utilisation des accéléromètres du téléphone, ce qui laisse espérer une autonomie d'au moins 12h sur la plus part des smartphones.
- Utilisent un serveur pour les traitements informatiques fortement consommateurs de temps de calcul.

En envoyant les données d'accélérométrie à un serveur (figure 2-16), on déporte ainsi la charge de calculs mathématiques nécessaire à la reconnaissance des activités physiques vers le serveur, et on gagne en autonomie sur le smartphone. De plus, le serveur possède une plus grande puissance de calcul, ce qui permet d'exécuter les algorithmes plus rapidement. La viabilité de cette architecture a été démontrée par [RAM 11], [MIC 11], ainsi que par [COU 11].

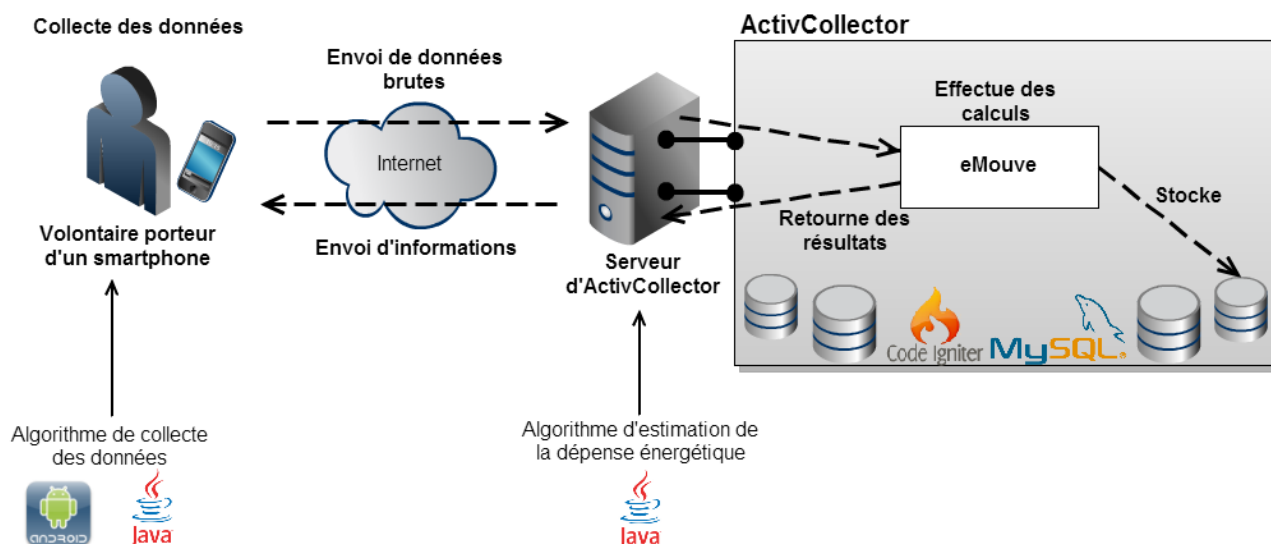


Figure 2-16 : Principe des échanges d'informations entre le smartphone et ActivCollector [FLE 12]

Le module « eMouve » d'ActivCollector va permettre de collecter des données provenant de smartphones, de les traiter puis de les stocker dans une base de données d'ActivCollector, ce qui ouvre des perspectives afin de croiser des données provenant de différentes sources.

Les développements réalisés dans le cadre de cette étude sont de deux ordres :

- La collecte des données : le programme informatique qui collecte les données d'accélérométrie et qui les envoie vers le serveur d'ActivCollector.
- Le traitement des données : le programme informatique qui, à partir des données d'accélérométrie, donne une estimation de la dépense énergétique. Ces algorithmes comprennent l'algorithme de recherche. L'apport scientifique de ce travail, à savoir l'algorithme conçu avec l'INRA, le LIMOS et le LMA est créé sur le serveur.

2.7 Conclusion

L'étude des algorithmes en conditions contrôlées a été faite sur 12 volontaires normo-pondéraux qui ont réalisé un scénario préétabli d'activités physiques en conditions contrôlées, en portant 2 capteurs de recherche pour l'estimation de la dépense énergétique, ainsi qu'un smartphone Android. Les volontaires ont été recrutés pour correspondre au mieux à la population française compte-tenu des contraintes financières et de temps qui étaient les nôtres.

L'évaluation de la performance de l'algorithme a été réalisée en comparant les dépenses énergétiques estimées par les capteurs et par l'algorithme à la dépense énergétique de référence, calculée à partir des scénarii expérimentaux propres à chaque volontaire.

Etude de l'algorithme en conditions contrôlées

L'objectif de cette section est de présenter les résultats de l'algorithme proposé par [FLE 12] sur 12 volontaires recrutés pour l'étude en conditions contrôlées.

3.1 Traitement des données avant analyse

Un facteur très important qu'il a fallu gérer avant la phase d'analyse a été de veiller à ce que les heures des différents capteurs et des smartphones soient synchronisées.

Les capteurs Armband et Actiheart prennent pour référence l'horloge de l'ordinateur qui a servi à les configurer. Il a donc été facile de les synchroniser avec l'heure universelle, puisque les ordinateurs utilisés règlent leurs horloges à partir du réseau.

Le smartphone porté par les volontaires pour la collecte des données avait une carte SIM, ce qui lui a permis de se maintenir en permanence synchronisé par rapport à l'heure universelle délivrée par le réseau.

En revanche, le smartphone utilisé pour noter le début de chaque activité n'avait pas de carte SIM, ce qui rend impossible la synchronisation. Il a donc fallu noter le décalage entre son horloge et l'heure universelle avant chaque test. Un petit logiciel a été créé afin de synchroniser les heures relevées par le chercheur avec l'heure universelle.

D'autre part, [FLE 12] a montré que les données n'ont besoin d'être échantillonnées qu'à 6Hz. Or, les téléphones utilisés par les volontaires ont collecté les données à 16.67Hz en moyenne. L'algorithme présenté dans [FLE 12] a donc été utilisé afin de ramener les données à une fréquence de 6Hz.

3.2 Traitement des données par l'algorithme

3.2.1 Principe général

L'estimation de la dépense énergétique par l'algorithme se fonde sur la reconnaissance des activités physiques à partir de données d'accélérométrie collectées par un smartphone.

Les données collectées sont ensuite traitées par le logiciel qui implémente l’algorithme. Celui-ci classe les activités selon leur type (marche lente / normale / rapide, course, assis, debout, transport). Le logiciel permet donc de connaître la durée de chaque activité reconnue.

La dernière étape consiste à estimer la dépense énergétique (DE) à partir des activités reconnues et de leurs durées. Le compendium [AIN 11] permet d’associer à chaque activité physique une intensité, exprimée en METs (1 MET est l’équivalent du métabolisme énergétique de repos). Il est donc possible de déterminer l’intensité de chaque activité pratiquée. Enfin, à partir d’équations telles qu’Harris & Benedict [HAR 19], Schofield [SCH 85] ou Black [BLA 96], il est possible de déterminer la valeur d’un MET en kilocalories pour chaque individu étudié. En sommant les dépenses énergétiques de chaque activité reconnue par l’algorithme, il est donc possible d’estimer la dépense énergétique totale durant la période étudiée.

3.2.2 Sélection des valeurs de METs pour chaque activité

A chaque activité peut être associée une intensité exprimée en METs. Les valeurs de METs utilisées pour l’estimation de la dépense énergétique proviennent de [AIN 11] (figure 3-1).

	MET
Assis	1,40
Debout	1,80
Tramway	1,60
Voiture	1,95
Inactivité inconnue	1,40
Marche lente	2,80
Marche normale	3,50
Marche rapide	4,30
Course	6,00
Activité inconnue	2,80
Montée d'escaliers	6,40
Descente d'escaliers	3,50

Figure 3-1 : Valeurs de METs utilisées par l’algorithme

La majorité de ces valeurs est tirée directement du compendium [AIN 11] : debout, marche normale, marche rapide, course, descente d’escalier.

Les autres valeurs sont des moyennes de plusieurs valeurs du compendium. En effet, le compendium peut donner des valeurs qui ne correspondent pas exactement aux activités pratiquées par les volontaires, telles que :

- La position assise : deux valeurs sont disponibles : « Assis, regarder la télé, étudier » (1.3 METs) et « Assis, travail sur ordinateur, écouter de la musique » (1.5 METs). La valeur choisie est donc la moyenne de ces deux valeurs, soit 1.4 METs.
- La voiture : le compendium donne une valeur de 2.5 METs pour l'activité « conduire une voiture ». Etant donné que l'algorithme ne peut pas détecter si les volontaires conduisent une voiture ou s'ils sont de simples passagers, la valeur choisie pour l'activité « voiture » est la moyenne des activités « voiture » et « assis », soit 1.95 METs.
- La montée d'escaliers : le compendium définit les activités « montée d'escaliers, lentement » (4 METs) et « montée d'escaliers, rapidement » (8.8 METs). La montée d'escaliers telle que considérée n'étant ni lente ni rapide, c'est donc la moyenne de ces deux activités (6.4 METs) qui a été retenue.
- Le tramway : Etant donné qu'il est possible d'être assis ou debout dans le tramway, c'est la moyenne de ces deux activités qui a été retenue (1.6 METs).

Enfin, il a été défini que les activités non reconnues par le logiciel sont considérées comme de la marche lente et que les inactivités non reconnues par le logiciel ont la même intensité que la position assise. En effet, le logiciel commence par déterminer s'il s'agit d'une activité ou d'une inactivité, puis il détermine la nature de l'activité ou de l'inactivité [FLE 12].

Les inactivités sont les positions assise et debout statique, ainsi que les transports tels que la voiture ou le tramway.

Ces valeurs de METs sont des valeurs absolues qu'il est possible de « corriger » pour les adapter aux caractéristiques (sexe, âge, poids et taille) du volontaire (figure 3-2).

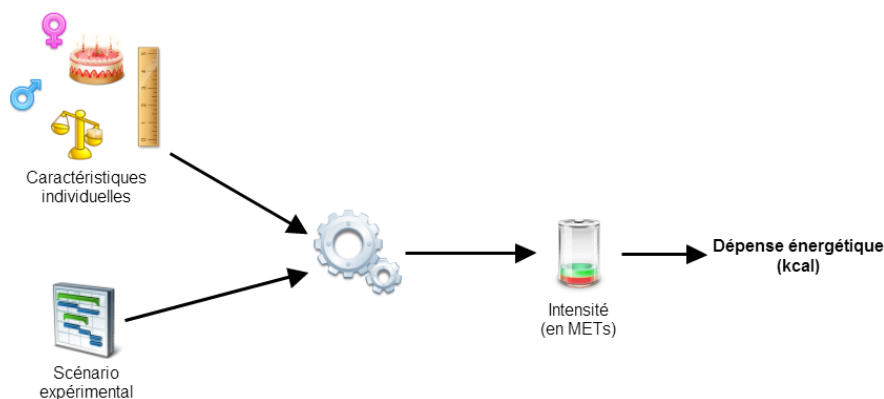


Figure 3-2 : Eléments pris en compte pour la correction des METs, pour chaque volontaire

La formule proposée par [AIN 11] est la suivante : $MET_C = \frac{MET_G * DE_{MR}}{3.5ml^{-1}kg^{-1}min^{-1}}$ avec MET_C la valeur de MET corrigée, MET_G la valeur absolue du compendium et DE_{MR} la dépense énergétique du métabolisme de repos calculée grâce aux équations de Harris & Benedict [HAR 19] (figure 3-3). Toutes ces valeurs (MET_G , MET_C et DE_{MR}) sont exprimées en ml d'oxygène consommé par kilogramme de poids corporel et par minute ($ml.kg^{-1}min^{-1}$).

Equation (kcal/j)	
Homme	$66,473 + 5,0033 * T + 13,7516 * P - 6,755 * A$
Femme	$655,0955 + 1,8496 * T + 9,5634 * P - 4,6756 * A$

T = Taille en cm ; P = Poids en kg ; A = Age en années

Figure 3-3 : Equations de Harris & Benedict pour estimer le métabolisme de repos [HAR 19]

Cette formule donne un résultat en kcal/j qu'il faut exprimer en volume d' O_2 consommé par unité de poids et par minute ($ml.kg^{-1}min^{-1}$) pour obtenir la valeur corrigée des METs :

$$kcal / j / 1440 = kcal / min ; kcal / min / 5 = L / min ; \frac{L / min}{P} 1000 = ml.kg^{-1}min^{-1}, \text{ avec P le poids en kg.}$$

La figure 3-4 présente les valeurs de METs corrigées par activité et par volontaire.

	Valeur générale	Volontaires											
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
		H	F	H	F	H	H	F	F	H	H	F	F
Assis	1,40	1,34	1,57	1,55	1,44	1,43	1,44	1,62	1,59	1,48	1,58	1,62	1,44
Debout	1,80	1,73	2,02	1,99	1,85	1,84	1,85	2,08	2,04	1,90	2,04	2,08	1,85
Tramway	1,60	1,53	1,79	1,77	1,64	1,64	1,64	1,85	1,82	1,69	1,81	1,85	1,64
Voiture	1,95	1,87	2,19	2,16	2,00	2,00	2,00	2,26	2,21	2,06	2,21	2,25	2,00
Inactivité inconnue	1,40	1,34	1,57	1,55	1,44	1,43	1,44	1,62	1,59	1,48	1,58	1,62	1,44
Marche lente	2,80	2,68	3,14	3,10	2,87	2,87	2,87	3,24	3,18	2,95	3,17	3,23	2,88
Marche normale	3,50	3,36	3,92	3,87	3,59	3,59	3,59	4,05	3,97	3,69	3,96	4,04	3,59
Marche rapide	4,30	4,12	4,82	4,76	4,41	4,41	4,41	4,98	4,88	4,53	4,87	4,96	4,42
Course	6,00	5,75	6,73	6,64	6,16	6,15	6,16	6,94	6,81	6,32	6,79	6,93	6,16
Activité inconnue	2,80	2,68	3,14	3,10	2,87	2,87	2,87	3,24	3,18	2,95	3,17	3,23	2,88
Montée d'escaliers	6,40	6,14	7,18	7,08	6,57	6,56	6,57	7,41	7,26	6,75	7,24	7,39	6,57
Descente d'escaliers	3,50	3,36	3,92	3,87	3,59	3,59	3,59	4,05	3,97	3,69	3,96	4,04	3,59

H = Hommes ; F = Femmes

Figure 3-4 : Valeurs de MET par activité et par volontaire

3.2.3 Analyse de la proposition par rapport à la littérature

A notre connaissance, seules deux publications étudient la reconnaissance d'activités physiques en utilisant les smartphones : [KWA 10] et [GIL 12].

Ces deux publications ont néanmoins des contraintes plus souples que celles fixées pour établir l'algorithme proposé dans ce projet :

- [KWA 10] est dépendant de la position initiale du smartphone, ce qui signifie que les utilisateurs doivent porter leur smartphone d'une façon bien précise afin que l'algorithme qu'ils ont créé fonctionne correctement.

Trois algorithmes ont été testés dans cette publication. Leurs résultats sont présentés sur la figure 3-5.

	[KWA 10]		
	J48	RL	PM
Assis	95,70%	92,2	95,00%
Debout statique	93,30%	87,00%	91,90%
Marche normale	89,90%	93,60%	91,70%
Course	96,50%	98,00%	98,30%
Montée d'escaliers	59,30%	27,50%	61,50%
Descente d'escaliers	55,50%	12,30%	44,30%
Moyenne	85,10%	78,10%	91,70%

J48 = Arbre de décisions

RL = Régression linéaire

PL = Perceptron multicouche

Figure 3-5 : Taux de reconnaissance des activités physiques par [KWA 10]

- [GIL 12] est indépendant de la position du téléphone, mais au prix de l'utilisation de plusieurs capteurs que sont : l'accéléromètre, le gyroscope et la boussole. L'utilisation combinée de ces 3 capteurs épuise la batterie très vite. L'objectif de l'étude eMouve est de proposer, in fine, une approche informatique permettant la conception d'une application utilisable en conditions habituelles de vie, c'est-à-dire qui puisse fonctionner au moins 12 heures sans intervention de l'utilisateur pour recharger le smartphone. D'autre part, [GIL 12] utilise le GPS pour distinguer la course de la marche.

Les taux de reconnaissance de chaque activité (assis, allongé, debout statique, marche et course) ne sont pas publiés. Le seul taux publié est le taux moyen de reconnaissance, toutes activités confondues : 97% sur 2 heures de test.

La figure 3-6 montre les résultats de ces deux publications et de l'algorithme proposé : AEDES.

	[KWA 10]			[GIL 12]	AEDES
	J48	RL	PM		
Assis	95,70%	92,2	95,00%	x	81,44%
Debout statique	93,30%	87,00%	91,90%	?	52,25%
Marche lente	x	x	x	x	x
Marche normale	89,90%	93,60%	91,70%	?	91,71%
Marche rapide	x	x	x	?	18,86%
Course	96,50%	98,00%	98,30%	?	55,84%
Montée d'escaliers	59,30%	27,50%	61,50%	x	x
Descente d'escaliers	55,50%	12,30%	44,30%	x	x
Déplacements motorisés	x	x	x	x	66,76%
Durée totale	environ 13h			2h	env. 38h
Moyenne					76,52%

Figure 3-6 : Taux de reconnaissance des activités physiques par les publications, activité par activité

Il n'est pas possible de comparer les taux de reconnaissance de l'algorithme AEDES et de ces publications pour deux raisons :

- La première est que les publications ne cherchent pas à reconnaître exactement les mêmes activités. Comparer les moyennes n'aurait donc aucun sens.
- La seconde est que [KWA 10] et [GIL 12] n'ont pas publié la façon dont ils ont calculé leurs taux de reconnaissance. Or, comme cela a été souligné dans la partie 3.2.3, cela a une importance capitale.

3.2.4 Reconnaissance des activités physiques

Le calcul du taux d'erreur dans la reconnaissance d'activités physiques peut se faire de plusieurs façons :

- En prenant pour base le scénario expérimental.
- En prenant pour base les activités reconnues par l'algorithme.
- En prenant en compte les durées totales de chaque activité reconnue par l'algorithme.

A partir de l'exemple représenté sur la figure 3-7, les taux de reconnaissance seraient :

- En se basant sur le scénario expérimental : de 40% pour l'activité A (0/2 et 2/3) et de 66.67% (2/3) pour l'activité B.
- En se basant sur les activités reconnues par l'algorithme : de 50% (0/2 et 2/2) pour l'activité A et de 80% (4/5) pour l'activité B.
- En prenant en compte les durées totales : de 80% pour l'activité A (4/5) et de 83.33% pour l'activité B (5/6).

La dernière mesure est celle qui semble la plus juste pour calculer le taux de reconnaissance, car il se peut que l'algorithme reconnaisse les activités avec un certain retard, mais qu'au final il les trouve bien toutes et avec les bonnes durées. La dépense énergétique estimée serait alors strictement identique à celle du scénario expérimental.

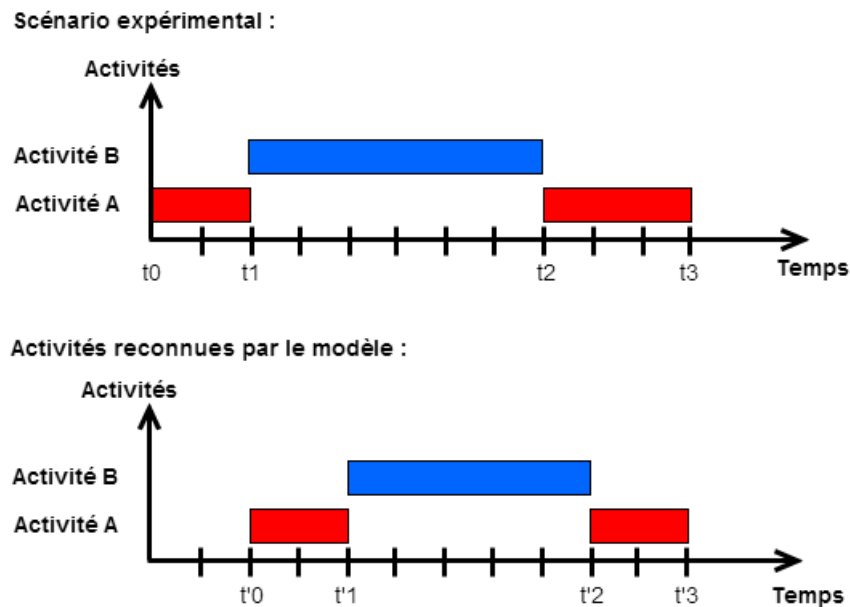


Figure 3-7 : Exemple d'activités d'un scénario expérimental vs activités reconnues par l'algorithme

Pour calculer les taux de reconnaissance des activités détectées par l'algorithme sur les 12 volontaires qui ont participé à l'étude en conditions contrôlées, les activités ont été groupées de la façon suivante :

- Dans le scénario expérimental, la marche lente, la montée et la descente d'escaliers sont fusionnées avec la marche normale.
- Dans les résultats obtenus par l'algorithme, les inactivités non reconnues sont fusionnées avec la position assise.

Ces groupements d'activités sont nécessaires pour estimer au mieux les taux de reconnaissance, car certaines activités ne sont, pour le moment, pas traitées par l'algorithme et il est probable que leur détection ne soit pas indispensable à une évaluation correcte de la dépense énergétique. L'intensité de la descente d'escaliers est identique à celle de la marche normale. La montée d'escaliers et la marche lente ne sont pour le moment pas reconnues par l'algorithme.

Les résultats de l'algorithme sur les 12 volontaires normo pondéraux en conditions contrôlées sont présentés sur la figure 3-8.

Vol.	Sexe	Reconnaissance
1	H	91,65%
2	F	81,10%
3	H	82,13%
4	F	73,25%
5	H	82,70%
6	H	49,13%
7	F	75,93%
8	F	75,55%
9	H	78,18%
10	H	76,92%
11	F	64,49%
12	F	87,17%

Hommes	
Moyenne	76,79%
Ecart-type	13,24%
Min	49,13%
Max	91,65%
Femmes	
Moyenne	76,25%
Ecart-type	6,96%
Min	64,49%
Max	87,17%

Moyenne	76,52%
Ecart-type	10,58%
Min	49,13%
Max	91,65%

Figure 3-8 : Taux de reconnaissance des activités physiques par l'algorithme

Le taux de reconnaissance moyen est de $76.52\% \pm 10.58\%$. On peut souligner que le taux de reconnaissance est très similaire chez les hommes et chez les femmes ($76.79\% \pm 13.24\%$ vs $76.25\% \pm 6.96\%$; figure 3-9).

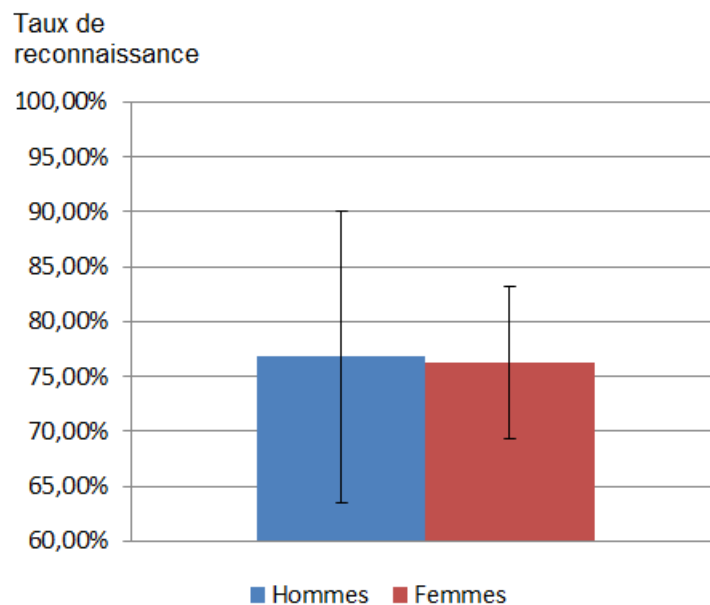


Figure 3-9 : Taux de reconnaissance des activités physiques chez les hommes et les femmes

On a ensuite cherché à déterminer si l'algorithme classe correctement les activités et les inactivités. Comme le montre la figure 3-10, les résultats sont très bons chez les hommes comme chez les femmes (environ 93.5%).

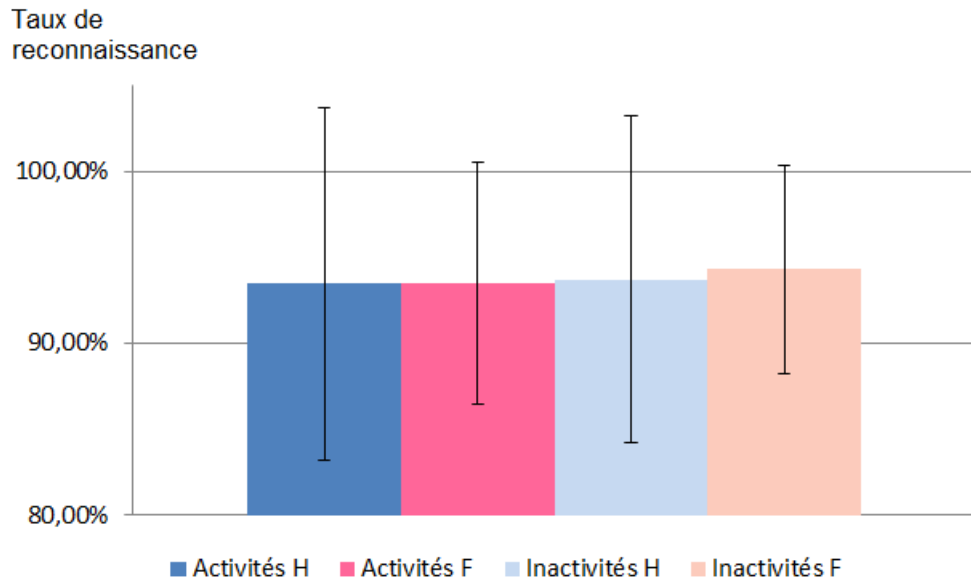


Figure 3-10 : Taux de détection des activités et inactivités selon le sexe des volontaires

3.2.5 Estimation de la dépense énergétique

La dépense énergétique de référence est obtenue grâce aux scénarii expérimentaux de chaque volontaire (figure 3-11). Elle est calculée de la même façon que pour l'estimation réalisée par l'algorithme, c'est-à-dire que pour chaque activité est calculée une intensité en METs, qui est ensuite convertie en dépense énergétique.

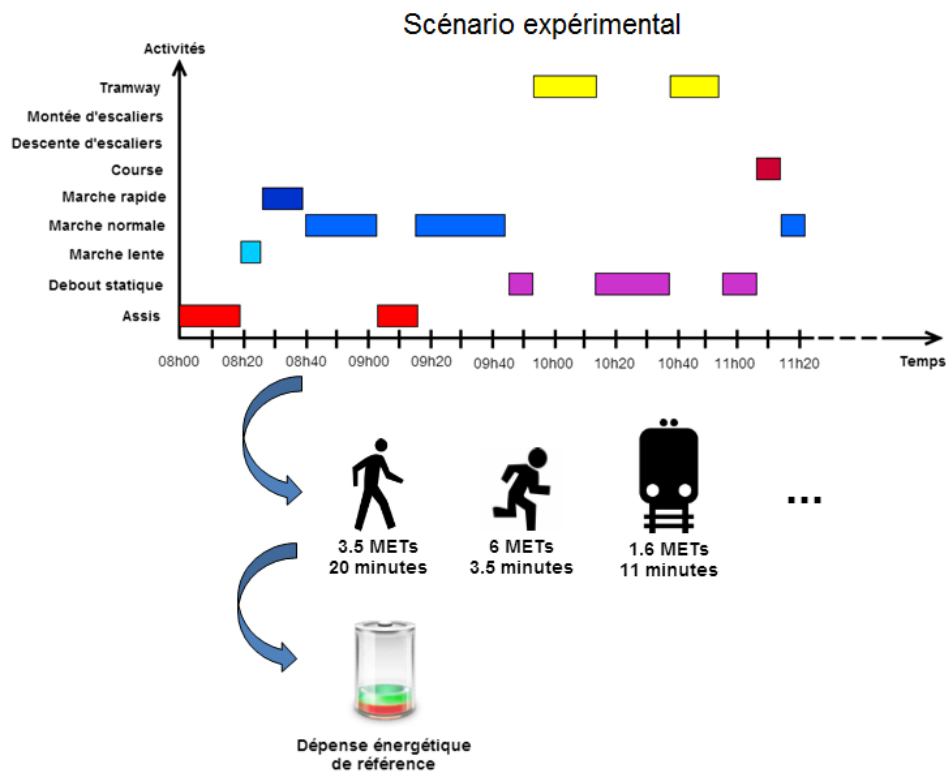


Figure 3-11 : Calcul de la dépense énergétique de référence pour chaque volontaire grâce au scénario expérimental

Les estimations de la dépense énergétique obtenues grâce l’algorithme sur les 12 volontaires sont présentées sur la figure 3-12. La dépense énergétique de référence est calculée à partir des activités notées par le chercheur qui suivait les volontaires, en utilisant les valeurs de METs du compendium [AIN 11] présentées précédemment.

Vol.	Sexe	DE de référence (kcal)	DE Armband (kcal)	DE Actiheart (kcal)	DE AEDES (kcal)
1	H	654,49	740,12	531,02	632,41
2	F	666,39	684,72	544,96	642,29
3	H	694,62	698,46	752,81	684,92
4	F	596,25	662,70	512,37	594,87
5	H	707,22	710,88	638,91	677,10
6	H	719,30	681,65	956,45	806,19
7	F	643,63	677,49	627,99	629,20
8	F	686,41	662,25	793,26	667,62
9	H	689,48	791,45	816,90	685,28
10	H	714,72	691,39	807,27	692,28
11	F	619,66	624,23	522,96	633,30
12	F	612,15	703,20	667,44	599,74

Moyenne H	696,64	718,99	750,56	696,36
Moyenne F	637,42	669,10	611,50	627,84
Moyenne	667,03	694,05	681,03	662,10
Ecart-type H	21,54	37,28	135,82	52,90
Ecart-type F	31,43	24,42	98,77	24,83
Ecart-type	40,04	40,19	137,60	53,68

Figure 3-12 : Dépense énergétique de référence et estimation par les capteurs, pour chaque volontaire

La figure 3-13 présente le taux d’erreur de chaque capteur porté par les volontaires lors de cette étude, par rapport à la dépense énergétique de référence. Le taux d’erreur se calcule de la façon

suivante : $\varepsilon = \left| \frac{DE_{AEDES} - DE_{réf}}{DE_{réf}} \right|$. AEDES est l’algorithme qui estime fréquemment le mieux la

dépense énergétique (7 fois sur 12) et l’Actiheart est celui qui l’estime le moins bien (10 fois sur 12). Néanmoins, il faut noter que l’initialisation de l’Actiheart requiert la fréquence cardiaque de sommeil, qui n’a pas pu être mesurée pour les volontaires en conditions contrôlées. C’est donc la fréquence cardiaque de repos mesurée par le médecin lors de la visite d’inclusion qui a été utilisée. Or, on sait que ce paramètre d’initialisation est important pour l’estimation de la dépense énergétique. Il faut donc prendre des précautions lors de l’analyse des résultats de l’Actiheart.

D'autre part, la moyenne des taux d'erreur sur les 12 volontaires montre que ce sont les estimations réalisées grâce au smartphone et au Armband qui sont les plus précises, avec des taux d'erreur de $3,2\% \pm 2,9\%$ et $6,3\% \pm 5,4\%$, respectivement, contre $13,9\% \pm 5,5\%$ pour l'Actiheart.

Volontaire	Erreur Armband	Erreur Actiheart	Erreur AEDES
1	13,08%	18,87%	3,37%
2	2,75%	18,22%	3,62%
3	0,55%	8,38%	1,40%
4	11,15%	14,07%	0,23%
5	0,52%	9,66%	4,26%
6	5,23%	23,31%	12,08%
7	5,26%	2,43%	2,24%
8	3,52%	15,57%	2,74%
9	14,79%	18,48%	0,61%
10	3,26%	12,95%	3,14%
11	0,74%	15,60%	2,20%
12	14,87%	9,03%	2,03%
Moyenne	6,31%	13,88%	3,16%
Ecart-type	5,36%	5,50%	2,92%
Erreur min	0,52%	2,43%	0,23%
Erreur max	14,87%	23,31%	12,08%

Figure 3-13 : Erreurs des capteurs par rapport aux dépenses énergétiques de référence

Les plages d'erreur de chaque capteur sont représentées sur la figure 3-14.

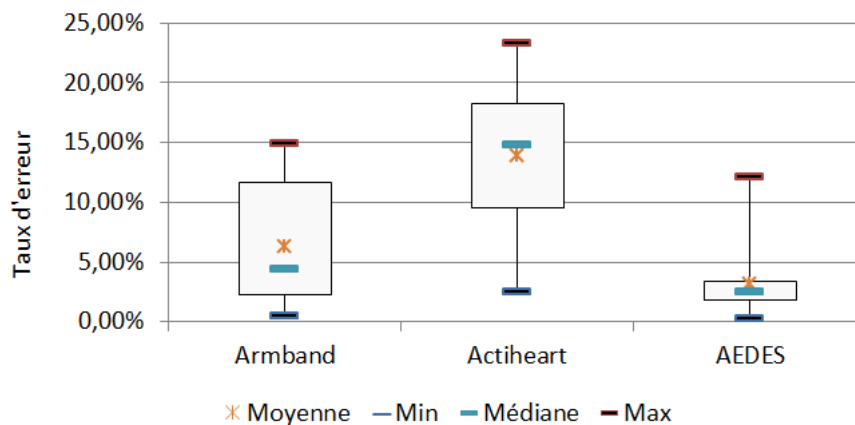


Figure 3-14 : Boîtes à moustaches des taux d'erreur de chaque capteur

Un test de Student apparié a été réalisé à partir des données d'Actiheart et d'AEDES. Ce test permet de savoir avec quelle probabilité il est possible d'affirmer qu'une différence est significative. Dans le cas présent, le test permet donc de savoir s'il est possible d'affirmer qu'AEDES est meilleur qu'Actiheart dans les conditions d'expérimentations.

Actiheart	Armband	AEDES	Actiheart - AEDES	Armband - AEDES
18,87%	13,08%	3,37%	15,49%	9,71%
18,22%	2,75%	3,62%	14,61%	-0,87%
8,38%	0,55%	1,40%	6,98%	-0,84%
14,07%	11,15%	0,23%	13,84%	10,91%
9,66%	0,52%	4,26%	5,40%	-3,74%
23,31%	5,23%	12,08%	11,23%	-6,84%
2,43%	5,26%	2,24%	0,19%	3,02%
15,57%	3,52%	2,74%	12,83%	0,78%
18,48%	14,79%	0,61%	17,87%	14,18%
12,95%	3,26%	3,14%	9,81%	0,12%
15,60%	0,74%	2,20%	13,40%	-1,46%
9,03%	14,87%	2,03%	7,00%	12,85%
	Moyenne		10,72%	3,15%
	Ecart-type		5,03%	6,97%
	t		7,38	1,57

Figure 3-15 : Calcul du test de Student à partir des données d'Actiheart, d'Armband et d'AEDES

Les valeurs fournies par le test sont $t_{Actiheart-AEDES} = \frac{10.72}{5.03/\sqrt{12}} = 7.38$ et

$t_{Armband-AEDES} = \frac{3.15}{6.97/\sqrt{12}} = 1.57$, ce qui signifie, en lisant la table de la figure 3-16 (pour

$k = 12 - 1 = 11$ degrés de liberté) :

1. Qu'il est probable (à 99.9%) que les erreurs d'Actiheart et d'AEDES soient significativement différentes.
2. Qu'il est peu probable que les erreurs d'Armband et d'AEDES soient significativement différentes.

Probabilité P	0,50	0,40	0,30	0,20	0,10	0,05	0,02	0,01	0,001
t pour k = 11	0,7	0,88	1,09	1,36	1,8	2,2	2,72	3,11	4,44

Figure 3-16 : Extrait de la table de distribution de T (loi de Student) [WIK 12]

D'autre part, en étudiant les résultats en fonction du sexe des volontaires, il apparaît que les taux d'erreur sont équivalents chez les hommes ($4.14\% \pm 3.76\%$) et chez les femmes ($2.18\% \pm 1.02\%$; figure 3-17).

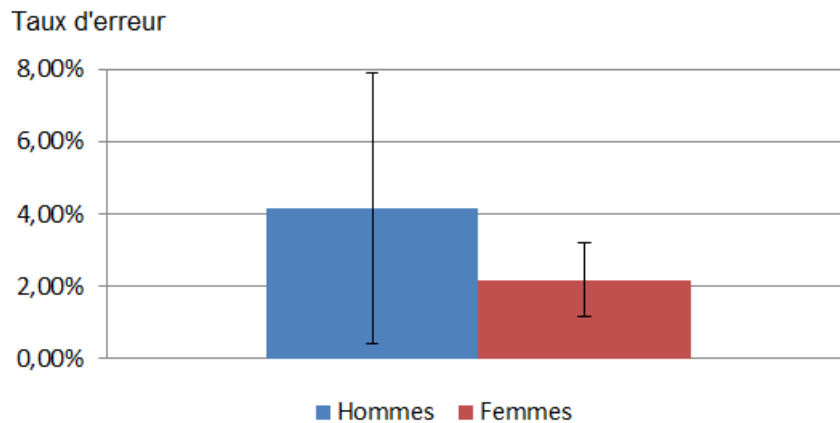


Figure 3-17 : Taux d'erreur d'estimation de la dépense énergétique en fonction du sexe des volontaires

3.3 Conclusion

Le choix des valeurs de METs est crucial dans cette étude pour estimer la dépense énergétique à partir de l'algorithme proposé, mais aussi pour établir les valeurs théoriques à partir desquelles sont comparés les autres capteurs.

En moyenne les estimations de l'algorithme proposé et du Armband sont les plus proches des valeurs de référence. Un test de Student a montré que les erreurs d'Actiheart et d'AEDES sont significativement différentes, et donc qu'AEDES est plus proche de la référence dans les conditions de cette étude.

Il apparaît aussi que les résultats obtenus sont identiques pour les hommes et pour les femmes, aussi bien en terme de reconnaissance des activités physiques (taux de reconnaissance de $76.29\% \pm 13.24\%$ vs $76.25\% \pm 6.96\%$) qu'en estimation de la dépense énergétique (taux d'erreur de $4.14\% \pm 3.76\%$ vs $2.18\% \pm 1.02\%$).

Conclusion

Les algorithmes proposés ont été testés en conditions contrôlées sur 12 volontaires au travers de 9 activités sur une période de 3 heures environ. Les algorithmes ont permis une évaluation de la dépense énergétique en kilocalories. Cette évaluation est comparée :

- A la dépense énergétique théorique liée à un scénario expérimental.
- A la dépense énergétique du Armband.
- A la dépense énergétique de l'Actiheart.

Les résultats montrent que les algorithmes proposés fournissent en moyenne, sur la population considérée (et limitée à 12 individus normaux pondéraux), une estimation de la dépense énergétique à 3.16% de la dépense énergétique théorique, ce qui est proche de la moyenne obtenue avec le Armband (6.31%). De plus, un test de Student a montré qu'AEDES est meilleur qu'Actiheart (qui a un taux d'erreur moyen de 13.88%) et aussi bon qu'Armband dans les conditions de cette étude.

Les résultats semblent très intéressants dans la mesure où ils sont obtenus à partir de smartphones très répandus dans la population alors que des équipements tels que le Armband et l'Actiheart valent respectivement 800 € et 1500 €, et sont à ce jour limités à des utilisations en laboratoire de recherche.

Les algorithmes ont donné lieu à une implémentation en Java au sein du module eMouve. Ce module n'est actuellement pas en service au sein d'ActivCollector car l'INRA est en attente des autorisations de la CNIL. Les données ont été collectées sur un téléphone et récupérées manuellement (via une connexion USB) sur un PC de développement : l'algorithme a été exécuté au sein de l'environnement de développement Eclipse.

La prochaine étape consistera à valider l'algorithme sur 6 volontaires évoluant en conditions habituelles de vie (figure 4-1). Cette étude va amener de nouvelles difficultés pour deux raisons :

- Le scénario théorique ne sera plus connu ou il sera connu avec une incertitude difficile à évaluer.
- Il est probable que les activités en conditions habituelles de vie ne soient pas aussi clairement établies qu'en conditions contrôlées.

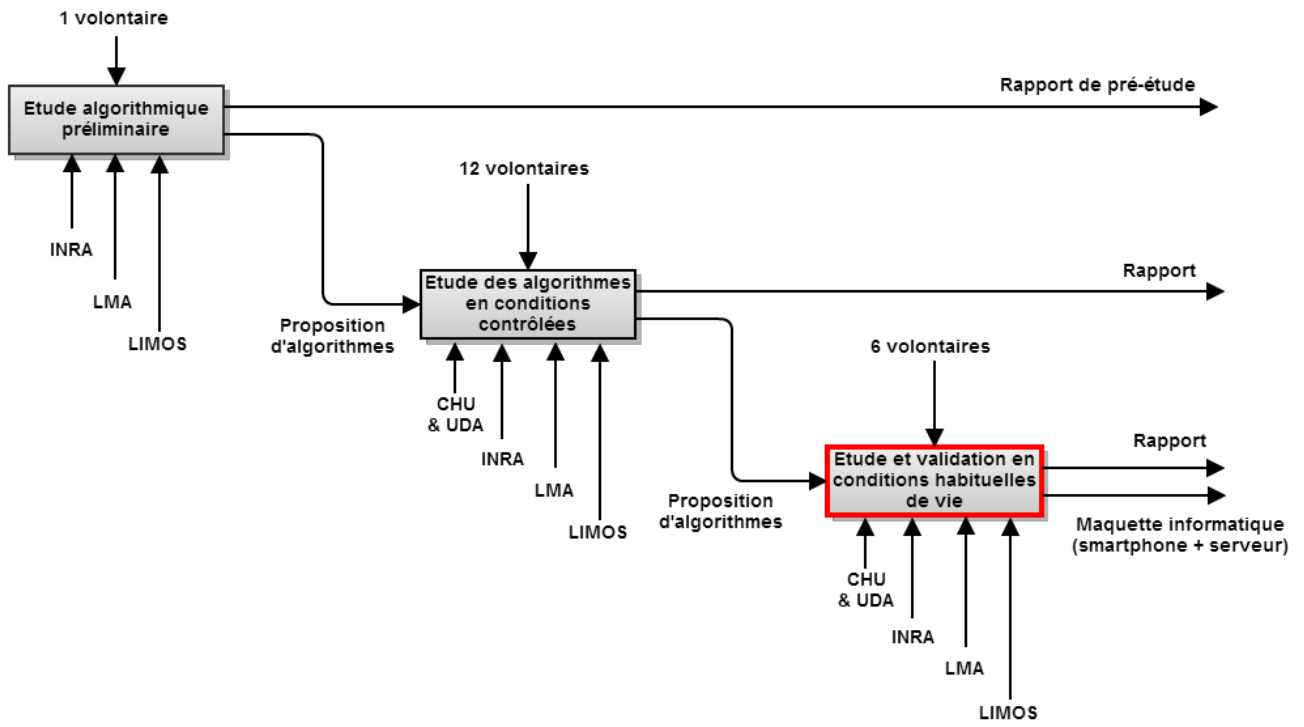


Figure 4-1 : Etapes de l'étude

GLOSSAIRE

- Accéléromètre :** Capteur permettant de mesurer l'accélération le long d'un axe. Le terme « accéléromètre triaxial » désigne en fait 3 accéléromètres : chacun mesurant l'accélération sur un axe différent.
- Actiheart :** Capteur de recherche utilisé pour évaluer la dépense énergétique d'un individu à partir de données telles que sa fréquence cardiaque ou l'accélérométrie.
- ActivCollector :** Ensemble d'outils automatisés et sécurisés de recueil, de traitement et de stockage des données à destination des biologistes, afin de les assister dans leur travail.
- ANSM :** Acronyme signifiant « Agence Nationale de Sécurité du Médicament et des produits de santé ». Cette agence doit être avertie dès lors que des volontaires humains se prêtent à un protocole de recherche clinique.
- Armband :** Capteur de recherche utilisé pour évaluer la dépense énergétique d'un individu à partir de données telles que l'accélérométrie, la sudation ou la température de la peau.
- CPP :** Acronyme signifiant « Comité de Protection des Personnes ». Il est indispensable d'obtenir l'aval de cet institut lorsque des volontaires humains sont impliqués dans un protocole de recherche.
- MET :** Un MET (pour « Metabolic Equivalent of Task », ou « Equivalent Métabolique d'Activité ») est l'équivalent du métabolisme énergétique de repos.
- Scénario expérimental :** Ensemble d'activités réalisées par un volontaire en essayant de respecter au mieux le scénario théorique. Chaque activité a une heure de début et une heure de fin.
- Scénario théorique :** Ensemble ordonné d'activités qui possèdent chacune une durée d'exécution.

LISTE DES FIGURES

Figure 1-1 : Fonctionnalités et acteurs d'ActivCollector [GUI 11a]	7
Figure 1-2 : Composition du système ActivCollector au 10/06/2012 [FLE 12]	8
Figure 1-3 : Principales étapes du travail [FLE 12]	10
Figure 1-4 : Détails de l'étude	11
Figure 1-5 : Formule de correction des METs au moment de la rédaction du précédent rapport [FLE 12]	11
Figure 1-6 : Formule de correction des METs corrigée	12
Figure 1-7 : Valeurs générales et corrigées de MET pour différentes activités	12
Figure 1-8 : Calcul de la dépense énergétique totale	13
Figure 2-1 : Etapes de l'étude	15
Figure 2-2 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées	16
Figure 2-3 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées	16
Figure 2-4 : Population française par sexe et groupes d'âges quinquennaux [INS 12]	17
Figure 2-5 : Population recrutée par sexe et groupes d'âges quinquennaux	18
Figure 2-6 : Taille moyenne des hommes et des femmes dans la population française et dans la population recrutée	18
Figure 2-7 : Caractéristiques de l'échantillon recruté durant la phase d'étude des algorithmes en conditions contrôlées	20
Figure 2-8 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées	20
Figure 2-9 : Plan du parcours d'une heure et demie effectué 2 fois par chaque volontaire	22
Figure 2-10 : Planning détaillé des activités du scénario, tel que présenté au comité de protection des personnes (CPP)	23
Figure 2-11 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées	24
Figure 2-12 : Scénarii expérimentaux propres à chaque volontaire, basés sur le scénario théorique	25
Figure 2-13 : Port du capteur Armband au bras droit	26
Figure 2-14 : Port du capteur Actiheart [ACT 12]	26
Figure 2-15 : Etapes de l'étude des algorithmes en conditions contrôlées	27
Figure 2-16 : Principe des échanges d'informations entre le smartphone et ActivCollector [FLE 12]	29
Figure 3-1 : Valeurs de METs utilisées par l'algorithme	32
Figure 3-2 : Eléments pris en compte pour la correction des METs, pour chaque volontaire	33
Figure 3-3 : Equations de Harris & Benedict pour estimer le métabolisme de repos [HAR 19]	34
Figure 3-4 : Valeurs de MET par activité et par volontaire	34
Figure 3-5 : Taux de reconnaissance des activités physiques par [KWA 10]	35
Figure 3-6 : Taux de reconnaissance des activités physiques par les publications, activité par activité	36
Figure 3-7 : Exemple d'activités d'un scénario expérimental vs activités reconnues par l'algorithme	37
Figure 3-8 : Taux de reconnaissance des activités physiques par l'algorithme	38
Figure 3-9 : Taux de reconnaissance des activités physiques chez les hommes et les femmes	38
Figure 3-10 : Taux de détection des activités et inactivités selon le sexe des volontaires	39
Figure 3-11 : Calcul de la dépense énergétique de référence pour chaque volontaire grâce au scénario expérimental	39
Figure 3-12 : Dépense énergétique de référence et estimation par les capteurs, pour chaque volontaire	40
Figure 3-13 : Erreurs des capteurs par rapport aux dépenses énergétiques de référence	41

Figure 3-14 : Boîtes à moustaches des taux d'erreur de chaque capteur	41
Figure 3-15 : Calcul du test de Student à partir des données d'Actiheart et d'AEDES	42
Figure 3-16 : Extrait de la table de distribution de T (loi de Student) [WIK 12]	42
Figure 3-17 : Taux d'erreur d'estimation de la dépense énergétique en fonction du sexe des volontaires	43
Figure 4-1 : Etapes de l'étude.....	46

BIBLIOGRAPHIE

- [AIN 11] Ainsworth BE., Haskell WL., Herrmann SD., Meckes N., Bassett DR., Tudor-Locke C., Greer J., Vezina J., Whitt-Glover MC. & Leon AS. (2011), 2011 Compendium of physical activities: a second update of codes and Met values. In *Medicine and Science in Sports and Exercise*, vol. 43 (8), pp 1575-1581.
(<https://sites.google.com/site/compendiumofphysicalactivities>)
- [BLA 96] Black AE, Coward WA, Cole TJ & Prentice AM (1996), Human energy expenditure in affluent societies: an analysis of 574 doubly-labelled water measurements. In *Eur J Clin Nutr*, vol 50, pp 72-92.
(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/8641250>)
- [COU 11] Cournollet T. & Fobis S. (2011) Réalisation d'un programme pour Windows Phone 7 pour le suivi de l'activité physique.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications>)
- [FLE 12] Fleury G., Guidoux R., Lacomme P. & Rousset R. (2012), « Etude algorithmique préliminaire » à la conception du module eMouve au sein d'ActivCollector : détection des activités physiques en conditions habituelles de vie à l'aide de smartphones. Rapport de recherche interne.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications#FLE12>)
- [GIL 12] Gil G.B., De Jesús A.B., Molina López J.M. (2012), inContexto: Multi-Sensor Architecture to Obtain People Context from Smartphones. In *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol 2012, Article ID 758789, 15 pages.
(<http://www.hindawi.com/journals/ijdsn/2012/758789>)
- [GUI 11a] Guidoux R. & Rousset S. (2011). Demande de création d'un site Internet ActivCollector pour collecter des données issues de recherches menées chez l'Homme par l'UMR 1019 Nutrition Humaine INRA-Université d'Auvergne au sein de l'Unité d'Exploration en Nutrition du CRNH.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications#GUI11>)
- [GUI 11b] Guidoux R. (2011), Conception et réalisation d'un système de gestion centralisée des données issues de projets de recherche clinique en nutrition humaine. Rapport de stage d'ingénieur en informatique. ISIMA, Clermont-Ferrand.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications#GUI11>)
- [HAR 19] Harris JA & Benedict FG (1919), A biometric study of basal metabolism in man. In *Carnegie Institute of Washington*.
<http://archive.org/download/biometricstudyof00harruoft/biometricstudyof00harruoft.pdf>
- [INS 07], de Saint Pol T., Institut National de la Statistique et des des Etudes Economiques (2007). L'obésité en France : les écarts entre catégories sociales s'accroissent.
http://www.insee.fr/fr/themes/document.asp?ref_id=ip1123
- [KAM 11] Kamèche N. et Roux G. (2011), Développement du logiciel Finder2E pour le test des modèles de prédiction de la dépense énergétique et élaboration du cahier des charges du service web ActivCollector.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications#KAM11>)
- [KWA 10] Kwapisz J.R., Weiss G.M. & Moore S.A. (2010), Activity Recognition using Cell Phone Accelerometers. In *ACM SIGKDD Explorations*, vol. 12 (2), pp 74-82.
(<http://storm.cis.fordham.edu/~gweiss/papers/sensorKDD-2010.pdf>)

- [LAS 10] Lasnes M. (2010), Prédiction de la dépense énergétique Finder2E. Rapport de stage Licence L3 Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications#LAS10>)
- [MIC 11] Michel J. et Besson J. (2011) Elaboration d'une application iPhone et d'un site Internet pour le suivi de l'activité physique. Rapport de projet L3. Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications>)
- [RAM 11] Ramilijaona A., Fatnassi S. et Rajerison A. (2011) Développement Mobile sous Android 2.2. Rapport de projet de L3. Université Blaise Pascal. Clermont-Ferrand.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications>)
- [ROU 11] Rousset S., Montaurier C., Normand S., Sauvinet V., Lacomme P., Boirie Y. & Morio B. (2011), Actiheart vs Armband for prediction of energy expenditure in controlled and free-living conditions. *Proceedings of the Second International Conference on Ambulatory Monitoring of Physical Activity and Movement*. 2011, May 24-27, Glasgow (UK).
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/Finder2E/Presentation/inra/IcampamP11-18.pdf>)
- [SCH 85] Schofield WN (1985), Predicting basal metabolic rate, new standards and review of previous work. In *Hum Nutr Clin Nutr*, vol. 39 (suppl. 1), pp. 5-41.
(<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/4044297>)
- [SPR 10] Spriet C. & Walter A. (2010), Traitement mathématique de données cardiaques : étape préliminaire de la prédiction de la dépense énergétique. Rapport de projet de l'ISIMA Filière F3, Université Blaise Pascal, Clermont-Ferrand.
(<https://www3.clermont.inra.fr/ActivCollector/home/publications#SPR10>)

WEBOGRAPHIE

[ACT 12] Bio-Lynx., *Introducing a New Version of Actiheart* [Site Internet], réf. du 19 octobre 2012. Canada.

<http://www.bio-lynx.com/actiheart.htm>

[INS 12] Institut National de la Statistique et des des Etudes Economiques, Population par sexe et groupes d'âges quinquennaux [Site Internet], réf. du 31 octobre 2012. France.

http://www.insee.fr/fr/themes/tableau.asp?reg_id=0&ref_id=NATnon02150

[WIK 12] Wikipedia, *Loi de Student* [Site Internet], réf. du 19 novembre 2012.

http://fr.wikipedia.org/wiki/Loi_de_Student#Tableau_des_valeurs_du_quantile