

Projet ANR-05-CIGC-006

**CHOC : CHallenge en Optimisation
Combinatoire**

Programme CIGC 2005

A IDENTIFICATION.....	2
B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC.....	2
B.1 Instructions pour les résumés consolidés publics.....	2
B.2 Résumé consolidé public en français.....	3
B.3 Résumé consolidé public en anglais.....	6
C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE.....	7
C.1 Résumé du mémoire.....	8
C.2 Enjeux et problématique, état de l'art.....	9
C.3 Approche scientifique et technique.....	10
C.4 Résultats obtenus.....	12
C.5 Exploitation des résultats.....	13
C.6 Discussion	13
C.7 Conclusions	13
C.8 Références.....	14
D LISTE DES LIVRABLES.....	14
E IMPACT DU PROJET.....	14
E.1 Indicateurs d'impact.....	14
E.2 Liste des publications et communications.....	15
E.3 Liste des éléments de valorisation.....	17
E.4 Bilan et suivi des personnels recrutés en CDD (hors stagiaires)	

18

Ce document est à remplir par le coordinateur en collaboration avec les partenaires du projet. L'ensemble des partenaires doit avoir une copie de la version transmise à l'ANR.

Ce modèle doit être utilisé uniquement pour le compte-rendu de fin de projet.

A IDENTIFICATION

Acronyme du projet	CHOC
Titre du projet	Challenge en Optimisation Combinatoire
Coordinateur du projet (société/organisme)	Bertrand Le Cun, Laboratoire PRiSM, Université de Versailles St Quentin.
Période du projet (date de début – date de fin)	2005-2009
Site web du projet, le cas échéant	Http://choc.prism.uvsq.fr

Rédacteur de ce rapport	
Civilité, prénom, nom	Mr Bertrand Le Cun
Téléphone	01 39 25 44 22
Adresse électronique	Bertrand.lecun@prism.uvsq.fr
Date de rédaction	01/12/09

Si différent du rédacteur, indiquer un contact pour le projet	
Civilité, prénom, nom	
Téléphone	
Adresse électronique	

Liste des partenaires présents à la fin du projet (société/organisme et responsable scientifique)	PRiSM : Université de Versailles (UVSQ) MOAIS : INRIA/LIG, Université de Grenoble G-SCOP , Grenoble INP, Grenoble Dolphin , Université de Lille
---	--

B RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC

Ce résumé est destiné à être diffusé auprès d'un large public pour promouvoir les résultats du projet, il ne fera donc pas mention de résultats confidentiels et utilisera un vocabulaire adapté mais n'excluant pas les termes techniques. Il en sera fourni une version française et une version en anglais. Il est nécessaire de respecter les instructions ci-dessous.

B.1 INSTRUCTIONS POUR LES RÉSUMÉS CONSOLIDÉS PUBLICS

Les résumés publics en français et en anglais doivent être structurés de la façon suivante.

Titre d'accroche du projet (environ 80 caractères espaces compris)

Titre d'accroche, si possible percutant et concis, qui résume et explicite votre projet selon une logique grand public : il n'est pas nécessaire de présenter exhaustivement le projet mais il faut plutôt s'appuyer sur son aspect le plus marquant.

Les deux premiers paragraphes sont précédés d'un titre spécifique au projet rédigé par vos soins.

Titre 1 : situe l'objectif général du projet et sa problématique (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 1 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 1 précise les enjeux et objectifs du projet : indiquez le contexte, l'objectif général, les problèmes traités, les solutions recherchées, les perspectives et les retombées au niveau technique ou/et sociétal

Titre 2 : précise les méthodes ou technologies utilisées (150 caractères max espaces compris)

Paragraphe 2 : (environ 1200 caractères espaces compris)

Le paragraphe 2 indique comment les résultats attendus sont obtenus grâce à certaines méthodes ou/et technologies. Les technologies utilisées ou/et les méthodes permettant de surmonter les verrous sont explicitées (il faut éviter le jargon scientifique, les acronymes ou les abréviations).

Résultats majeurs du projet (environ 600 caractères espaces compris)

Faits marquants diffusables en direction du grand public, expliciter les applications ou/et les usages rendus possibles, quelles sont les pistes de recherche ou/et de développement originales, éventuellement non prévues au départ.

Préciser aussi toute autre retombée= partenariats internationaux, nouveaux débouchés, nouveaux contrats, start-up, synergies de recherche, pôles de compétitivités, etc.

Production scientifique et brevets depuis le début du projet (environ 500 caractères espaces compris)

Ne pas mettre une simple liste mais faire quelques commentaires. Vous pouvez aussi indiquer les actions de normalisation

Illustration

Une illustration avec un schéma, graphique ou photo et une brève légende. L'illustration doit être clairement lisible à une taille d'environ 6cm de large et 5cm de hauteur. Prévoir une résolution suffisante pour l'impression. Envoyer seulement des illustrations dont vous détenez les droits.

Informations factuelles

Rédiger une phrase précisant le type de projet (recherche industrielle, recherche fondamentale, développement expérimental, exploratoire, innovation, etc.), le coordonnateur, les partenaires, la date de démarrage effectif, la durée du projet, l'aide ANR et le coût global du projet, par exemple « Le projet XXX est un projet de recherche fondamentale coordonné par xxx. Il associe aussi xxx, ainsi que des laboratoires xxx et xxx). Le projet a commencé en juin 2006 et a duré 36 mois. Il a bénéficié d'une aide ANR de xxx € pour un coût global de l'ordre de xxx € »

B.2 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN FRANÇAIS

Suivre impérativement les instructions ci-dessus.

« CHallenge en Optimisation Combinatoire » : Trouver et prouver la meilleure solution d'un problème d'optimisation sur machines parallèles.

Les problèmes d'Optimisation Combinatoire, un challenge

De nombreux problèmes industriels sont des problèmes d'Optimisation Combinatoire (systèmes de production, conception de circuits électroniques, systèmes de transport, supply-chain, ...). Leur résolution est confrontée à l'explosion combinatoire du nombre de solutions possibles à considérer !

Nous nous sommes intéressés à deux problèmes : Le problème d'Affectation Quadratique est un problème classique d'Optimisation Combinatoire dans lequel il convient de trouver l'affectation optimale de n usines sur n sites de façon à minimiser un coût quadratique dépendant à la fois des distances inter-sites et des flux inter-usines. Ainsi, malgré 30 années de recherches, la taille des applications pouvant être résolue exactement demeure très basse (autour de $n = 30$).

Une extension de ce dernier est le problème d'affectation à 3 dimensions. Il vient du problème en transmission de données sans fil où on cherche un « mapping » des symboles de transmission aux données maximisant la diversité de transmissions multiples par paquet. Une bonne solution à ce problème permet de réduire significativement le coût d'obtention d'une transmission fiable sur des canaux de communication sans fil avec distorsion du signal. Les derniers résultats ont montré que la taille abordable en résolution exacte était limitée à une taille de 12.

Le parallélisme pour lutter contre l'explosion combinatoire

Le parallélisme apparaît comme un excellent moyen pour d'une part réduire les temps de résolution de ces problèmes et d'autre part faire coopérer les méthodes exactes et heuristiques. Pour cela, le portage des outils Bob++ et ParadisEO, qui sont respectivement des frameworks de résolution exactes et heuristiques, sur l'intergiciel Kaapi permet de résoudre des problèmes d'optimisation combinatoire sur machine multi-coeur, cluster de multi-coeur ou grille de calcul. En effet, Kaapi est un moteur exécutif multithreadé qui vise à séparer la description du parallélisme au niveau applicatif, de l'exploitation du parallélisme des architectures matérielles hétérogènes utilisées (CC-NUMA, Grappe, Grille) par des algorithmes d'ordonnancement à la volée (essentiellement vol de travail). Les algorithmes d'ordonnancement sont prouvés théoriquement pour la classe des programmes multithreadés considérés (ayant une structure du type fork/join). De part les temps de calcul considérés dans ce projet et le nombre de ressources de calcul nécessaires, l'apparition d'une panne est très probable. Kaapi possède des protocoles de tolérances aux pannes qui acceptent un nombre arbitraire de pannes franches.

Résultats Majeurs

Beaucoup d'extensions écrites sur les 3 logiciels. Bob++, ParadisEO et Kaapi.

Nous détenons les meilleurs algorithmes séquentiels et parallèles de résolution du Q3AP.

En résolution exacte, nous avons proposé des améliorations du calcul de la borne inférieure tant algorithmique qu'implémentatoire (utilisation des jeux d'instructions SSE). De plus, la gestion des configurations symétriquement équivalentes, nous a permis pour la première fois de résoudre un problème de taille 16 à l'optimum.

En résolution approchée par métaheuristique, le projet a permis d'obtenir une hybridation d'algorithme génétique/recuit simulé. Il a pu être montré qu'en utilisant une procédure adaptée d'initialisation de la population initiale, il a en effet été possible pour la première fois d'aborder des problèmes de taille 18 et 22.

Mais nous avons aussi hybridé, méthodes exactes et approchées. En effet, d'une part, la méthode exacte est utilisée comme intensification par l'algorithme génétique, et d'autre part, une métaheuristique ParadisEO est utilisée par le solveur exacte pour améliorer dynamiquement les solutions générées, car effet la recherche étant profondeur d'abord, les premières solution trouvées ne sont pas optimales..

Les 3 logiciels

- Bob++ : framework pour écrire des solveurs exactes de problèmes d'optimisation combinatoire, <https://software.prism.uvsq.fr/bobpp/>
- ParadisEO : framework pour écrire des solveurs approchés de problèmes d'optimisation combinatoire, <http://paradiseo.gforge.inria.fr/>
- Kaapi : moteur exécutif multithreads permettant l'exécution d'application parallèle sur de large machines hétérogènes (jusqu'à environ 3600 coeurs sur Grid5000 en 2007, 2008) <https://gforge.inria.fr/projects/kaapi/>

Publications :

V.-D. Cung, B. Le Cun, C. Roucairol, Parallel Combinatorial Optimization, Chapitre 8 dans le livre Applications of Combinatorial Optimization, John Wiley & Sons, sous la direction de V. Th. Paschos, ISBN 9781848211490, 2010, USA.

L. Loukil, M. Mehdi, N. Melab, E-G Talbi, and P. Bouvry. A Parallel Hybrid Genetic Algorithm - Simulated Annealing for Solving Q3AP on Computational Grid. In Proc. of the 22th IEEE Intl. Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'2009), NIDISC Workshop. Roma, Italy, 2009.

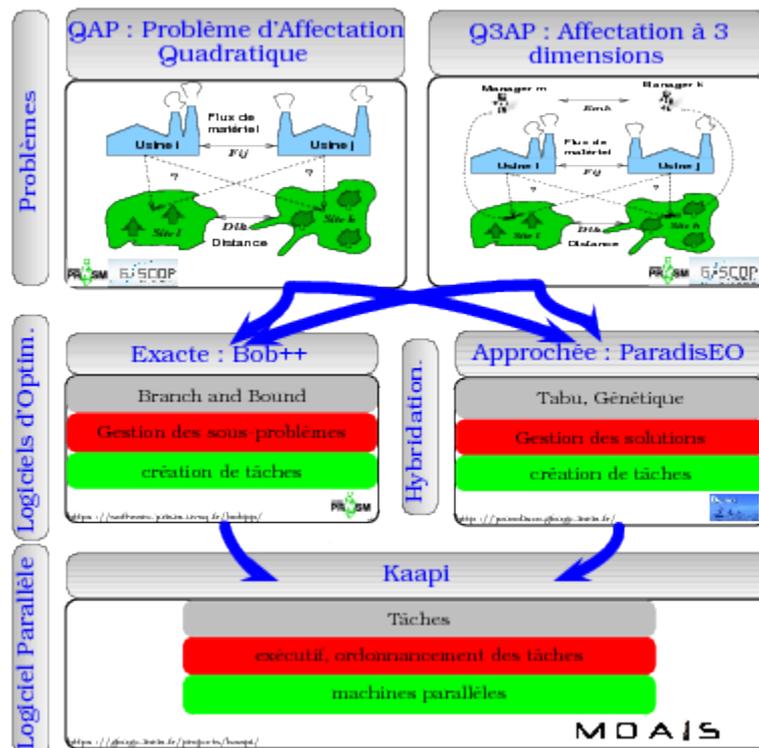
S. Jafar, A. Krings and T. Gautier. Flexible Rollback Recovery in Dynamic Heterogeneous Grid Computing. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, ([TDSC](#)) Vol. 6, No. 1, January-March, 20

X. Besson, S. Bouguerra, T. Gautier, E. Saule, and D. Trystram. Fault tolerance and availability awareness in computational grids, chapter 5. Numerical Analysis and Scientific Computing. Chapman and Hall/CRC Press, to appear 2009. Note: ISBN: 978-1439803677.

Francois Galea and Bertrand Le Cun. Bob++ : a Framework for Exact Combinatorial Optimization Methods on Parallel Machines, in PGCO'2007 as part of the 2007 International Conference High Performance Computing & Simulation (HPCS'07) and in conjunction with The 21st European Conference on Modeling and Simulation (ECMS 2007) Prague, June 4 - 6, 2007, Pages 779-785.

B. Le Cun, C. Roucairol, T. Crainic, Parallel Branch and Bound Algorithms Chapitre 1 dans le livre : E-G. Talbi, "Parallel Combinatorial Optimization", John Wiley & Sons, ISBN-0-471-72101-8, USA, 2006.

F. Galea, P. Hahn, B. Le Cun, A parallel implementation of the Three-Dimensional Quadratic Assignment Problem, European Chapter on Combinatorial Optimization :ECCO 2008, Dubrovnik, Croatia, may 2008.



Le projet « CHOC Challenge en Optimisation Combinatoire » est un projet de recherche fondamentale coordonné par le laboratoire PRISM de l'UVSQ. Il associe les laboratoires Dolphin de l'INRIA, G-SCOP de Grenoble INP et l'équipe Moais de l'INRIA-Grenoble. Le projet a démarré début 2005 pour une durée 42 mois : il bénéficie d'une aide ANR de 350 k€ pour un coût global de l'ordre de 1 M€.

B.3 RÉSUMÉ CONSOLIDÉ PUBLIC EN ANGLAIS

Suivre impérativement les instructions ci-dessus.

« CHallenge en Optimisation Combinatoire » (Challenge in Combinatorial Optimization) : Find and prove the best solution of an optimization problem on parallel machines.

The Combinatorial Optimization problems, a challenge

Many industrial problems are indeed Combinatorial Optimization problems (Manufacturing systems, VLSI design, transport systems, supply-chain management, ...). Solving these problems is hard due to the combinatorial blast of the solutions to be considered !

In this project, we have dealt with two problems: (1) The Quadratic Assignment Problem (QAP) is a classical Combinatorial Optimization problem in which one have to the optimal assignment of n firms to n sites in order to minimize the quadratic cost. This cost depends on the distances between sites and the material flows between firms. Despite 30 years of research efforts, the size of instances which can be solved exactly remains drastically low (around $n=30$). (2) An extension of QAP is the 3 Dimension Quadratic Assignment Problem (Q3AP). It comes from a wireless data transmission problem where we look for a mapping of transmission symbols to data maximizing the diversity of multiple packet transmission. A good solution to this problem allows reducing significantly the cost to obtain a reliable transmission over the wireless communication channel with signal distortion. The recent results have shown that the computationally reachable exact solutions are limited to size 12.

Fighting combinatorial blast with Parallel Computing

Parallel Computing appears as an excellent mean to reduce the solving time of these problems on one hand, and as an easy way to combine exact and heuristic methods on the other hand. Thus, putting tools such as Bob++ and ParadisEO, which are frameworks for developing respectively exact and heuristic solvers, over the middleware Kaapi permits to solve Combinatorial Optimization problem on multi-core machine, multi-core cluster or computing grid. Indeed, Kaapi is a multithreaded runtime environment which aims to distinct the description of parallelism at the application level from the exploitation of the parallelism at the heterogeneous hardware architecture (CC-NUMA, Cluster, Grid) using on-line (work-stealing mainly) scheduling algorithms. These scheduling algorithms have been proved theoretically for the class of multi-threaded programs considered (having a fork/join type structure). Since the computational times are long in this project and the resources involved are numerous, the probability to have a fault during runtime is high. For this purpose, Kaapi has fault tolerant protocols which accept

Main Results

Many extensions have been developed for Bob++, ParadisEO and Kaapi. We have the best sequential and parallel solving algorithms for the Q3AP. In exact solving, we have proposed algorithmic and programming improvements (like the use of the SSE instruction set) for the computation of low bounds. Furthermore, the management of symmetrical configurations has allowed us to solve optimally for the first time an problem instance of size 16.

In approximated solving using metaheuristics, this project has allowed to develop an hybrid genetic/simulated annealing algorithm. It has shown that using a suitable initialisation procedure to generate the initial population, we have been able to reach for the first time solutions for problem instances of size 18 and 22.

We have also mixed exact and approximated methods in two ways: (1) an exact method is used as intensification inside a genetic algorithm, and (2) a ParadisEO metaheuristic is used by an exact method to improve dynamically the solutions generated.

3 software frameworks of this project:

- Bob++ : framework to develop exact solvers for Combinatorial Optimization problems, <https://software.prism.uvsq.fr/bobpp/>
- ParadisEO : framework to develop approximated solvers for Combinatorial Optimization problems, <http://paradiseo.gforge.inria.fr/>
- Kaapi : multithreaded runtime environment to run parallel applications on large heterogeneous machines (until around 3600 cores on Grid5000 in 2007 and 2008) <https://gforge.inria.fr/projects/kaapi/>

C MÉMOIRE SCIENTIFIQUE

Maximum 5 pages. On donne ci-dessous des indications sur le contenu possible du mémoire. Ce mémoire peut être accompagné de rapports annexes plus détaillés.

Le mémoire scientifique couvre la totalité de la durée du projet. Il doit présenter une synthèse auto-suffisante rappelant les objectifs, le travail réalisé et les résultats obtenus mis en perspective avec les attentes initiales et l'état de l'art. C'est un document d'un format semblable à celui des articles scientifiques ou des monographies. Il doit refléter le caractère collectif de l'effort fait par les partenaires au cours du projet. Le coordinateur prépare ce rapport sur la base des contributions de tous les partenaires. Une version préliminaire en est soumise à l'ANR pour la revue de fin de projet.

Un mémoire scientifique signalé comme confidentiel ne sera pas diffusé. Justifier brièvement la raison de la confidentialité demandée. Les mémoires non confidentiels seront susceptibles d'être diffusés par l'ANR, notamment via les archives ouvertes <http://hal.archives-ouvertes.fr>.

Mémoire scientifique confidentiel : oui / non

C.1 RÉSUMÉ DU MÉMOIRE

Ce résumé peut être repris du résumé consolidé public.

De nombreux problèmes industriels sont des problèmes d'Optimisation Combinatoire (système de production, conception de circuits électroniques, systèmes de transport, supply-chain, ...). Leur résolution est confrontée à l'explosion combinatoire du nombre de solutions possibles à considérer !

Nous nous sommes intéressés à deux problèmes : Le problème d'Affectation Quadratique est un problème classique d'Optimisation Combinatoire dans lequel il convient de trouver l'affectation optimale de n usines sur n sites de façon à minimiser un coût quadratique dépendant à la fois des distances inter-sites et des flux inter-usines. Ainsi, malgré 30 années de recherches, la taille des applications pouvant être résolue exactement demeure très basse (autour de $n = 30$).

Une extension de ce dernier est le problème d'affectation à 3 dimensions. Il vient du problème en transmission de données sans fil où on cherche un « mapping » des symboles de transmission aux données maximisant la diversité de transmissions multiples par paquet. Une bonne solution à ce problème permet de réduire significativement le coût d'obtention d'une transmission fiable sur des canaux de communication sans fil avec distorsion du signal. Les derniers résultats ont montré que la taille abordable en résolution exacte était limitée à une taille de 12.

Le parallélisme pour lutter contre l'explosion combinatoire

Le parallélisme apparaît comme un excellent moyen pour d'une part réduire les temps de résolution de ces problèmes et d'autre part faire coopérer les méthodes exactes et heuristiques. Pour cela, le portage des outils Bob++ et ParadisEO, qui sont respectivement des frameworks de résolution exactes et heuristiques, sur l'intergiciel Kaapi permet de résoudre des problèmes d'optimisation sur machine multi-cœur, cluster de multi-cœur ou grille de calcul. En effet, KAAPI est un moteur exécutif multithreadé qui vise à séparer la description du parallélisme au niveau applicatif, de l'exploitation du parallélisme des architectures matérielles hétérogènes utilisées (CC-NUMA, Grappe, Grille) par des algorithmes d'ordonnement à la volée (essentiellement vol de travail). Les algorithmes d'ordonnement sont prouvés théoriquement pour la classe des programmes multithreadés considérés (ayant une structure du type fork/join). De part les temps de calcul considérés dans ce projet et le nombre de ressources de calcul nécessaires, l'apparition d'une panne est très probable. Kaapi possède des protocoles de tolérances aux pannes qui acceptent un nombre arbitraire de pannes franches.

Nous détenons les meilleurs algorithmes séquentiels et parallèles de résolution du Q3AP. En résolution exacte, nous avons proposé des améliorations algorithmiques de la borne inférieure. De plus nous avons introduit des tests permettant d'interdire la génération de solutions symétriquement équivalentes. Ainsi l'implémentation fine (utilisation de SSE + multi-thread) nous a permis pour la première fois de résoudre un problème de taille 16 à l'optimum.

En résolution approchée par métaheuristique, le projet a permis d'obtenir une hybridation d'algorithme génétique/Recuit simulé. Il a pu être montré qu'en utilisant une procédure adaptée d'initialisation de la population initiale, il a en effet été possible pour la première fois d'aborder des problèmes de taille 18 et 22.

Mais nous avons aussi hybridé, méthodes exactes et approchées. En effet, d'une part, la méthode exacte est utilisée comme intensification par l'algorithme génétique, et d'autre part,

une métaheuristique ParadisEO est utilisée par le solveur exacte pour améliorer dynamiquement les solutions réalisables générées.

C.2 ENJEUX ET PROBLÉMATIQUE, ÉTAT DE L'ART

Présenter les enjeux initiaux du projet, la problématique formulée par le projet, et l'état de l'art sur lequel il s'appuie. Présenter leurs éventuelles évolutions pendant la durée du projet (les apports propres au projet sont présentés en C.4).

Le challenge en Optimisation Combinatoire est de toujours résoudre plus vite des problèmes plus grands. La communauté scientifique a créé quelques success stories, en résolvant par exemple à l'optimum une instance de taille 30 d'un problème d'Affectation quadratique (QAP). En effet, la recherche d'une solution optimale d'un QAP nécessite le parcours d'arborescence de millions de nœuds : pour $n=25$ déjà 44 millions de sommets. Une équipe formée d'Anstreicher, Brixius, Goux et Linderoth de l'Université de Iowa et du Argonne National Laboratory a résolu grâce au parallélisme pour la première fois le problème Nugent de taille 30 en 7 jours sur une plate-forme composée de plus de 2000 machines (projet MetaNEOS). L'impact du parallélisme a pu être ainsi prouvé au grand public grâce à un « tapage » médiatique impressionnant: résultat sur Nugent 30 annoncé dans toute la presse américaine (Chicago Tribune, Chicago Sun Times, HPCWire, WNCSA Access Magazine, etc.) et dans un certain nombre de journaux et de revues françaises (InfoScience, Le Monde, Transfert, etc.).

Toutefois, ces résultats posent un problème de reproductibilité, aucune autre équipe dans le monde n'ayant pu ré-éditer cet exploit ! Il a en effet fallu mobiliser 7 jours de temps de calcul sur une grille de calcul composée de 2510 machines, avec 700 machines actives en moyenne, pour développer une arborescence de plus de 12 milliards de sommets, le parcours arborescent de type « diviser pour régner » étant alors très près d'une exploration de type « force brute ».

Durant la durée du projet, l'avènement des processeurs multi-coeurs a fait rentrer le parallélisme chez tout le monde de manière encore plus visible. Il n'est maintenant plus possible de proposer un code de calcul qui n'utilise qu'un seul coeur.

Pour pousser le plus loin possible la résolution exacte de problème d'Optimisation Combinatoire, il faut améliorer théoriquement leur résolutions exactes mais aussi avoir à sa disposition des outils efficaces pour implanter et gérer le parallélisme.

Le PRISM, l'équipe Dolphin et le laboratoire G-SCOP travaillent depuis longtemps sur de outils logiciels permettant d'implémenter les algorithmes d'optimisation. Les applications ainsi obtenues peuvent être exécutées aussi bien sur mono-coeur que sur des machines multi-coeurs ou distribuées.

Le laboratoire PRISM propose Bob++ un framework pour implanter des méthodes exactes types Branch and Bound. Plusieurs bibliothèques de ce type ont existé comme PPBB (Univ. Paderborn) mais ne sont plus maintenues, d'autres sont encore sous forme de projet, OOB (Univ. Montréal), d'autres encore sont spécifiques à des types de Branch-and-Bound (Branch-and-Cut, Branch-and-Price) comme Symphony (Rice Univ.). COIN-OR sponsorisé par IBM propose des outils de ce type. Toutefois, les plus aboutis comme CHIPPS n'offrent qu'un algorithme parallèle fondé sur MPI. Ils ne peuvent proposer d'autres algorithmes parallèle ni même des algorithmes utilisant d'autres bibliothèques de communication ou programmation parallèle. Depuis sa conception, Bob++ est multi-algorithme, et donc peut offrir une parallélisation sur diverses plateformes.

L'équipe Dolphin quant à elle propose une ParadisEO. Ce Framework facilite le développement de solveurs parallèles ou séquentiels utilisant des hybridations de métaheuristiques. Les environnements de développement de métaheuristiques actuels sont spécifiques à des méthodes données tels que la recherche locale (EasyLocal++, HotFrame, JDeal), algorithmes évolutionnaires (EO, GaLib), etc. Rares sont les environnements qui

intègrent le parallélisme et la distribution des métaheuristiques sauf peut-être l'ancien projet espagnol MALLBA. A notre connaissance, ParadisEO est le seul environnement open source à intégrer la plupart des métaheuristiques et leurs différents modèles parallèles ainsi que leur hybridation.

Du point de vue de l'implémentation, la résolution de ces problèmes en parallèle consiste à ordonnancer un graphe de tâches sur un nombre borné de ressources de calcul de la machine parallèle visée. Les performances de l'application proviennent, d'une part, de l'implantation fine de la gestion du parallélisme, et d'autre part, de la qualité de l'ordonnancement calculé. L'équipe MOAIS développe déjà depuis longtemps une bibliothèque appelée Kaapi/Athapascan permettant de décrire simplement le parallélisme de son application comme un graphe de tâches indépendamment de l'architecture matérielle utilisée. Le moteur exécutif se charge de placer les tâches sur les processeurs disponibles. L'algorithme d'ordonnancement retenu dans Kaapi est un algorithme de « vol de travail », qui a été montré comme étant efficace en théorie comme en pratique pour des applications, comme celles de CHOC, qui possèdent un parallélisme potentiel bien plus important que le parallélisme physique disponible. Cette approche permet d'obtenir des exécutions très efficaces (avec une accélération quasi linéaire) sur de nombreuses architectures (machine multiprocesseurs SMP, grappe ou grille). Kaapi permet d'utiliser des grilles de machines hétérogènes (architecture ou vitesse des processeurs) dans lesquelles les ressources apparaissent ou disparaissent au cours du temps. Les techniques utilisées pour masquer les pannes franches peuvent aussi s'appliquer afin de poursuivre un calcul distribué de manière non continue en l'arrêtant puis en le reprenant ultérieurement, éventuellement sur une autre grappe.

C.3 APPROCHE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE

Nous sommes attachés à la résolution exacte ou approchée en parallèle du problème d'affectation quadratique à 3 dimensions (Q3AP), extension récente et d'une complexité supérieure du problème de l'affectation quadratique proposée par P. Hahn de l'Université de Pennsylvanie. Le Q3AP est la modélisation d'un problème stratégique qui vient d'une nouvelle application pratique en transmission de données sans fil (comme les réseaux de senseurs) : l'implantation d'un schéma hybride ARQ (Automatic Repeat reQuest) pour enrichir la diversité de transmissions multiples par paquet en optimisant le « mapping » des symboles de transmission aux données. La solution du Q3AP peut réduire significativement le coût d'obtention d'une transmission fiable sur des canaux de communication sans fil avec distorsion du signal. Il s'écrit comme la minimisation d'une fonction quadratique sur le polytope d'affectation en 3 dimensions. Le plus grand problème résolu exactement pour ce problème NP-difficile était de taille $n=13$, en environ 7 jours par P. Hahn et al. (projet financé aux Etats-Unis par la NSF).

Nous décrivons dans la suite les apports du projet sur d'abord la résolution exacte ensuite sur la résolution approchée et enfin sur l'hybridation que nous avons proposée.

Résolution exacte du Q3AP

Dans le cadre du projet CHOC, nous avons pu résoudre exactement le problème de taille 14 en 18h. Ce progrès est dû bien évidemment à une parallélisation efficace, mais il a aussi été possible en obtenant des avancés sur la méthode de résolution elle-même.

En effet, un premier apport est l'accélération de la convergence de la fonction d'évaluation appelée en chaque noeud de l'arbre Branch and Bound. Cette fonction fondée sur la relaxation RLT_1 appliquée au Q3AP, utilise une procédure dual ascent pour obtenir une borne inférieure des valeurs des solutions atteignables à partir d'un noeud. Nous avons proposé des méthodes permettant d'accélérer la convergence du dual ascent pour d'obtenir

plus vite une borne inférieure de meilleure qualité. Ces méthodes étant vectorielles et matricielles, nous en avons proposé une parallélisation vectorielle utilisant les jeux d'instructions SSE. Bien qu'utilisant des vecteurs de taille réduite, l'utilisation des instructions SSE dans ce contexte donne de bons résultats.

Un deuxième apport est la gestion des solutions symétriquement équivalentes. En effet, nous avons montré que le Q3AP est un problème symétrique. Comme pour le QAP, où les matrices symétriques de flux et de distances peuvent donner lieu à de nombreuses solutions symétriquement équivalentes, une solution à une instance du problème de Q3AP peut avoir une solution symétriquement équivalente. Cela vient du fait que l'application de transmission sans fil, l'affectation des symboles de modulation lors de la première et de la seconde retransmission peuvent être échangées sans modifier la valeur de la solution. Détecter ces symétries a permis de réduire considérablement les tailles des arbres de recherche lors de résolution exacte par méthode de séparation et évaluation.

Le solveur exact du Q3AP a été implanté au dessus du framework Bob++ dans le cadre du projet CHOC. De plus, Bob++ a été implanté au dessus de Kaapi, beaucoup des résultats montrés dans la section C.4 sont le résultat d'exécution du solveur avec Bob++ sur le moteur exécutif kaapi.

Résolution Approchée du Q3AP

Dans le cadre de la thèse de Malika Mehdi, nous avons conçu et réalisé une métaheuristique parallèle hybride avec différents modèles parallèles et différents types d'hybridation puis une approche originale pour l'initialisation des populations du modèle insulaire pour les problèmes de permutation.

Pour allier à la fois l'exploration et l'intensification parallèles pour l'obtention de solutions de meilleure qualité, la métaheuristique parallèle hybride a été conçue par combinaison de plusieurs mécanismes d'hybridation et plusieurs modèles parallèles. Un modèle insulaire coopératif parallèle a été utilisé pour produire un ensemble coopératif d'algorithmes génétiques (AGs). L'ensemble des solutions produites est réutilisé dans un mode d'hybridation relais suivant le modèle multi-start parallèle. Sur chaque solution produite, une méthode de recherche locale de type recuit simulé est appliquée en parallèle. Une autre hybridation entre les AGs et la Recherche Tabou (développée par l'équipe G-SCOP) est en cours d'expérimentation.

L'initialisation de la population est souvent fondée sur la génération aléatoire d'individus. Dans le cadre du projet CHOC, nous avons proposé une approche originale pour l'initialisation des populations du modèle insulaire. Cette approche a été publiée dans GECCO'09. L'approche est fondée sur le codage des nœuds d'une arborescente de l'espace de recherche des problèmes de permutation exploré par un algorithme Branch and Bound. L'idée consiste à partitionner l'espace de recherche en autant de partitions qu'il y'a de populations dans le modèle insulaire. Chaque population est alors générée dans son sous-espace correspondant à sa partition.

Hybridation des résolutions exactes et approchées

L'hybridation des méthodes exactes et approchées peut être vue sous deux angles, soit la méthode approchée aide la résolution exacte, soit l'exacte aide la méthode approchée.

Trouver ou obtenir des solutions réalisables de très bonne qualité le plus tôt possible durant une résolution exacte permet de réduire considérablement la taille de l'arbre de recherche. Nous avons « embarqué » une résolution approchée ParadisEO dans notre solveur exact. Dès qu'une nouvelle solution est trouvée, le code approchée ParadisEO est lancée sur cette

solution pour qu'elle soit éventuellement améliorée. Cette idée donne de bons résultats. En effet, les premières solutions trouvées par la recherche Branch and Bound, ne sont pas les meilleures, passer un peu de temps de calcul à les améliorer permet de couper plus tôt des sous-arbres et donc d'explorer moins de nœuds.

Les méthodes approchées ont parfois des problèmes à intensifier leur recherche autour des solutions déjà trouvées. Nous avons donc proposé d'utiliser notre solveur exact pour améliorer une solution. La démarche est la suivante, lorsqu'une solution complète doit être intensifiée, nous générons une solution « partielle » en « libérant » des variables qui étaient fixées. Puis une exécution exacte à partir de cette solution partielle permet de trouver la meilleure solution dans le sous arbre considéré. Cette méthode permet de générer une solution de très bonne qualité à partir d'une autre. Dans le domaine de la programmation linéaire, cette méthode est appelée Local-Branching. Ces résolutions sont actuellement en test sur Grid 5000.

Moteur exécutif pour un calcul à large échelle

L'exploitation d'une architecture comme Grid5000 pour l'exécution d'une application possède de nombreux problèmes techniques et algorithmiques. D'une part, il s'agit de maîtriser le nombre de ressources et la complexité de leur gestion dans un middleware : dès 2007, nous avons travaillé à rendre robuste le logiciel qui a été récompensé lors de nos participations aux plugtests Grid@Work en 2007 et 2008. Nous nous appuyons sur un déploiement adaptatif des processus qui permet de lancer rapidement (en parallèle) un ensemble de processus sur un ensemble de clusters géographiquement dispersés, malgré des variations du système, voir des pannes de machines (qui sont automatiquement ignorées sans arrêter le déploiement). Ce déploiement a été couplé à l'étape de réservation.

Ce travail technique a été couplé à un travail sur la conception d'algorithmes de tolérance adaptés aux techniques d'ordonnancement dans Kaapi (vol de travail et pré-partitionnement de graphe) ainsi qu'à leurs intégrations dans le logiciel.

C.4 RÉSULTATS OBTENUS

Positionner les résultats par rapports aux livrables du projet et aux publications, brevets etc. Revisiter l'état de l'art et les enjeux à la fin du projet.

Résultats exactes

A notre connaissance, notre solveur exact du Q3AP est actuellement le plus performant. Les travaux les plus récents (2006) relate la résolution du problème de taille 13 en 23 jours. Nous pouvons maintenant le résoudre en 14h. Nous avons aussi prouvé l'optimum de problème de taille 14 à 16 : Nug14 résolu en 17,8h, le Nug15 en 5,25 jours, le Nug16a en 30 jours le Nug16b en 27 jours. Ces exécutions ont été réalisées sur des machines 8 coeurs.

Résultats approchés

L'expérimentation de l'approche originale pour l'initialisation des populations du modèle insulaire appliquée aux instances Nug15 et Nug18 a montré qu'elle permet l'obtention de la meilleure solution connue dans 37% des cas (vs. 35% pour l'initialisation aléatoire) pour Nug15 et dans 24% des cas (vs. 2% pour l'initialisation aléatoire). On voit bien que notre approche est nettement plus efficace que la méthode aléatoire sur les instances de grande taille telle que Nug18.

Moteur exécutif pour un calcul à large échelle

Victoire au Grid@Work plugtest à Beijing en 2007. Cela a permis de valider 1/ le déploiement d'un grand nombre de processus et leur interconnexion malgré la présence de défaillance lors des déploiements 2/ l'algorithme d'ordonnancement pour répartir la charge de travail sur une application du calcul du nombre de solution au problème des Nqueens. Ce travail a été poursuivi en 2008 par l'intégration à l'outil de déploiement des mécanismes de réservation sur Grid 5000 (objectif du plugtest Grid@Work en 2008) lors duquel nous avons pu exécuter une même application sur 2 grilles (l'une en France : Grid5000, l'autre en France : Intrigger).

C.5 EXPLOITATION DES RÉSULTATS

Tous les partenaires étant des laboratoires ou équipes de recherche, l'exploitation des résultats ne se fait que par l'intermédiaire de publications scientifiques regroupées dans la section E.

C.6 DISCUSSION

Discussion sur le degré de réalisation des objectifs initiaux, les verrous restant à franchir, les ruptures, les élargissements possibles, les perspectives ouvertes par le projet, l'impact scientifique, industriel ou sociétal des résultats.

Le framework Bob++ a été beaucoup étendu durant le projet. Plusieurs applications tests ont pu être développées. Une couche applicative pouvant résoudre des problèmes mixtes en nombres entiers a même été ajoutée. Comme dit précédemment, le solveur Q3AP exacte est à notre connaissance le plus performant du marché. Cette application n'a pour l'instant pas été publiée avec le reste de la bibliothèque.

Bob++ a été porté sur la plateforme Kaapi. Des tests ont pu être menés. Toutefois, le temps a manqué pour montrer de réels résultats. Lors de ce portage, nous avons identifié la nécessité de coupler finement les structures de données des nœuds à explorer dans Bob++ avec l'algorithme d'ordonnancement afin de réduire les coûts de gestion du parallélisme. Ce problème a donné lieu à une active recherche dans l'équipe MOAIS pour la programmation d'algorithmes adaptatifs et c'est traduit dans l'évolution du logiciel Kaapi.

Un solveur heuristique de Q3AP a aussi été implanté au dessus de ParadisEO. Comme expliqué précédemment chacun des deux solveurs peuvent embarquer l'autre. Une publication commune est en cours de rédaction actuellement.

C.7 CONCLUSIONS

Le projet CHOC a permis à quatre équipes françaises, spécialistes de l'Optimisation Combinatoire et du Calcul Parallèle, de proposer des méthodes de résolution innovantes pour deux problèmes d'optimisation (QAP et Q3AP) et ce en collaboration avec des chercheurs étrangers de renommée internationale (P. Hahn et M. Guignard-Spielberg de l'université de Pennsylvanie). Par ailleurs, nous avons pu étendre et faire coopérer les outils logiciels complémentaires, que sont Bob++ ParadisEO et Kaapi, afin de proposer à la communauté scientifique et aux industriels une suite d'outils d'optimisation combinatoire parallèle incluant les derniers progrès algorithmiques et exploitant les nouvelles architectures des processeurs et machines parallèles. Avec les solveurs exactes et approchées développés utilisant cette suite d'outils, les tests réalisés sur le problème de l'Affectation Quadratique à 3 dimensions (Q3AP) montrent que nous disposons des solveurs les plus performants actuellement, pour ce problème. Ces résultats nous ont permis d'asseoir notre notoriété dans ce domaine au niveau international. Enfin, nous avons aussi développé des idées pour la coopération de méthodes de résolution exacte et approchée. Il existe encore peu d'outils logiciels génériques proposant cette flexibilité dans l'usage de la coopération des

méthodes. Les premiers tests réalisés sont très encourageants, toutefois il nous a manqué du temps pour les finaliser.

C.8 RÉFÉRENCES

D LISTE DES LIVRABLES

Quand le projet en comporte, reproduire ici le tableau des livrables fourni au début du projet. Mentionner l'ensemble des livrables, y compris les éventuels livrables abandonnés, et ceux non prévus dans la liste initiale.

Date de livraison	N°	Titre	Nature (rapport, logiciel, prototype, données, ...)	Partenaires (souligner le responsable)	Commentaires
T+18	1.1	Logiciel ParadisEO sur grilles	Logiciel	DOLPHIN+ MOAIS	Fait
T+18	1.2	Logiciel Bob++ sur Grilles	Logiciel	OPALE+ MOAIS	Fait
T+24	2.1	QAP Q3AP sur ParadisEO	Logiciel	DOLPHIN+ GSCOP	Fait
T+24	2.2	QAP et Q3AP sur Bob++	Logiciel	OPALE	Fait
T+36	3.1	Encapsulation Q3AP approché dans Q3AP Exact	Logiciel	OPALE+GSCOP+ DOLPHIN	D3.1 dédoublé
T+36	3.1	Encapsulation Q3AP exact dans Q3AP approché	Logiciel	DOLPHIN+GSCO P+OPALE	D3.1 dédoublé
T+24	3.2	Kaapi	Logiciel	MOAIS	Fait

E IMPACT DU PROJET

Ce rapport rassemble des éléments nécessaires au bilan du projet et plus globalement permettant d'apprécier l'impact du programme à différents niveaux.

E.1 INDICATEURS D'IMPACT

Nombre de publications et de communications (à détailler en E.2)

Comptabiliser séparément les actions monopartenaires, impliquant un seul partenaire, et les actions multipartenaires résultant d'un travail en commun.

Attention : éviter une inflation artificielle des publications, mentionner uniquement celles qui résultent directement du projet (postérieures à son démarrage, et qui citent le soutien de l'ANR et la référence du projet).

		Publications multipartenaires	Publications monopartenaires
International	Revue à comité de lecture	1 soumis	1+1 soumis
	Ouvrages ou chapitres	2	2

	d'ouvrage		
	Communications (conférence)		8
France	Revue à comité de lecture		
	Ouvrages ou chapitres d'ouvrage	1	
	Communications (conférence)	2	2
Actions de diffusion	Articles vulgarisation		
	Conférences vulgarisation		
	Autres		

Autres valorisations scientifiques (à détailler en E.3)

Ce tableau dénombre et liste les brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet, du savoir faire, des retombées diverses en précisant les partenariats éventuels. Voir en particulier celles annoncées dans l'annexe technique).

	Nombre, années et commentaires (valorisations avérées ou probables)
Brevets internationaux obtenus	
Brevet internationaux en cours d'obtention	
Brevets nationaux obtenus	
Brevet nationaux en cours d'obtention	
Licences d'exploitation (obtention / cession)	
Créations d'entreprises ou essaimage	
Nouveaux projets collaboratifs	ANR HORUS.
Colloques scientifiques	
Autres (préciser)	

E.2 LISTE DES PUBLICATIONS ET COMMUNICATIONS

Répertorier les publications résultant des travaux effectués dans le cadre du projet. On suivra les catégories du premier tableau de la section Erreur : source de la référence non trouvée en suivant les normes éditoriales habituelles. En ce qui concerne les conférences, on spécifiera les conférences invitées.

Communications France monopartenaires :

X. Besson, L. Pigeon, T. Gautier, S. Jafar. « Un protocole de sauvegarde / reprise coordonné pour les applications à flot de données reconfigurables ». In RENPAR'17, Perpignan, France, 2006.

Xavier Besson, Laurent Pigeon, Thierry Gautier, and Samir Jafar. Un protocole de sauvegarde / reprise coordonné pour les applications à flot de données reconfigurables. In TSI, 2007. Hermès.

Communications France multipartenaires :

F. Galéa et B. Le Cun, Gestion des symétries dans une résolution exacte de l'affectation quadratique à trois dimensions, Roadev 2009, Nancy, Février, 2009

F. Galéa et B. Le Cun, Résolution parallèle de l'affectation quadratique à 3 dimensions, Roadev 2010, Toulouse, Février, 2010

Communications internationales monopartenaires

L. Loukil, M. Mehdi, N. Melab, E-G Talbi, and P. Bouvry. A Parallel Hybrid Genetic Algorithm - Simulated Annealing for Solving Q3AP on Computational Grid. In Proc. of the 22th IEEE Intl. Parallel and Distributed Processing Symposium (IPDPS'2009, NIDISC Workshop. Roma, Italy, 2009.

M. Mehdi, N. Melab, E-G.Talbi and P. Bouvry. Interval Island Model Initialization for Permutation-based Problems. Poster in ACM Genetic and Evolutionary Computation Conf. (GECCO'2009), Montreal, Canada, July 2009.

F. Galea and B. Le Cun, Bob++ : a Framework for Exact Combinatorial Optimization Methods on Parallel Machines, in PGCO'2007 as part of the 2007 International Conference High Performance Computing & Simulation (HPCS'07) and in conjunction with The 21st European Conference on Modeling and Simulation (ECMS 2007) Prague, June 4 - 6, 2007, Pages 779-785.

B. Le Cun and C. Roucairol, On the Lower bounds of the Quadratic Assignment Problem, European Chapter on Combinatorial Optimization : Ecco 2006, Porto, Portugal, may 2006.

F. Galea, P. Hahn, B. Le Cun A parallel implementation of the Three-Dimensional Quadratic Assignment Problem,, European Chapter on Combinatorial Optimization ECCO 2008, Dubrovnik, may 2008.

S. Jafar, L. Pigeon, T. Gautier, J.-L. Roch. Self-Adaptation of Parallel Applications in Heterogeneous and Dynamic Architectures. In ICCTA'06 IEEE Conference on Information & Communication Technologies: from Theory to Applications, Damascus, Syria, april 2006.

X. Besson, S. Jafar, T. Gautier, J.-L. Roch. CCK: An Improved Coordinated Checkpoint/Rollback Protocol for Dataflow Applications in KAAPI. In ICCTA'06 IEEE Conference on Information & Communication Technologies: from Theory to Applications, Damascus, Syria, april 2006.

T. Gautier, J.-L. Roch, F. Wagner. Fine Grain Distributed Implementation of a Dataflow Language with Provable Performances. In ICCS 2007/PAPP 2007 4th Int. Workshop on Practical Aspects of High-Level Parallel Programming, Beijing, China, may 2007.

Articles revues internationales monopartenaires

S. Jafar, A. Krings and T. Gautier. Flexible Rollback Recovery in Dynamic Heterogeneous Grid Computing. IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing, ([TDSC](#)) Vol.~6, No.~1, January-March, 2009

L. Loukil, M. Mehdi, N. Melab, E-G Talbi, and P. Bouvry. A Parallel Hybrid Genetic Algorithms for Solving Q3AP on Computational Grid. Soumis à International Journal of Foundations of Computer Science, 2009.

Articles revues internationales multipartenaires

F. Galea, P. Hahn, B. Le Cun, Exact solution method for the 3-dimensional Quadratic Assignment Problem, Soumis à European Journal of Operational Research (EJOR) 2010

Chapitre book/international monopartenaires :

B. Le Cun, C. Roucairol, T. Crainic Parallel Branch and Bound Algorithms, Chapitre 1 dans le livre : E-G. Talbi, "Parallel Combinatorial Optimization", John Wiley & Sons, ISBN-0-471-72101-8, USA, 2006.

X. Besseron, S. Bouguerra, T. Gautier, E. Saule, and D. Trystram. Fault tolerance and availability awareness in computational grids, chapter 5. Numerical Analysis and Scientific Computing. Chapman and Hall/CRC Press, 2009. Note: ISBN: 978-1439803677.

Chapitre book/international multipartenaires :

V.-D. Cung, B. Le Cun, C. Roucairol, Parallel Combinatorial Optimization, Chapitre 8 dans le livre Applications of Combinatorial Optimization, John Wiley & Sons, sous la direction de V. Th. Paschos, ISBN 9781848211490, 2010, USA.

V.-D. Cung, B. Le Cun, C. Roucairol, Optimisation Combinatoire Parallèle, Chapitre 6 dans le livre Optimisation Combinatoire : Applications, Hermès Science, sous la direction de V. Th. Paschos, ISBN 2-7462-1179-3, 2005, France.

E.3 LISTE DES ÉLÉMENTS DE VALORISATION

La liste des éléments de valorisation inventorie les retombées (autres que les publications) décomptées dans le deuxième tableau de la section Erreur : source de la référence non trouvée. On détaillera notamment :

- *brevets nationaux et internationaux, licences, et autres éléments de propriété intellectuelle consécutifs au projet.*
- *logiciels et tout autre prototype*
- *actions de normalisation*
- *lancement de produit ou service, nouveau projet, contrat,...*
- *le développement d'un nouveau partenariat,*
- *la création d'une plate-forme à la disposition d'une communauté*
- *création d'entreprise, essaimage, levées de fonds*
- *autres (ouverture internationale,..)*

Elle en précise les partenariats éventuels. Dans le cas où des livrables ont été spécifiés dans l'annexe technique, on présentera ici un bilan de leur fourniture.

Les différentes extensions qu'on pu être apportées à la bibliothèque Bob++, a permis de communiquer. Notamment la couche Programmation linéaire maintenant disponible, sera la base du projet ANR HORUS, labellisé en octobre 2010. L'équipe CARO du PRiSM (ancienne équipe Opale) en est le coordinateur.

E.4 BILAN ET SUIVI DES PERSONNELS RECRUTÉS EN CDD (HORS STAGIAIRES)

Ce tableau dresse le bilan du projet en termes de recrutement de personnels non permanents sur CDD ou assimilé. Renseigner une ligne par personne embauchée sur le projet quand l'embauche a été financée partiellement ou en totalité par l'aide de l'ANR et quand la contribution au projet a été d'une durée au moins égale à 3 mois, tous contrats confondus, l'aide de l'ANR pouvant ne représenter qu'une partie de la rémunération de la personne sur la durée de sa participation au projet.

Les stagiaires bénéficiant d'une convention de stage avec un établissement d'enseignement ne doivent pas être mentionnés.

Les données recueillies pourront faire l'objet d'une demande de mise à jour par l'ANR jusqu'à 5 ans après la fin du projet.

Identification				Avant le recrutement sur le projet			Recrutement sur le projet				Après le projet				
Nom et prénom	Sexe H/F	Adresse email (1)	Date des dernières nouvelles	Dernier diplôme obtenu au moment du recrutement	Lieu d'études (France, UE, hors UE)	Expérience prof. Antérieure, y compris post-docs (ans)	Partenaire ayant embauché la personne	Poste dans le projet (2)	Durée missions (mois) (3)	Date de fin de mission sur le projet	Devenir professionnel (4)	Type d'employeur (5)	Type d'emploi (6)	Lien au projet ANR (7)	Valorisation expérience (8)
Galéa François	H	Francois.Galea@pris.m.uvsq.fr	03/11/2010	Doctorat	Versailles	3	Opale	CDD	18 mois	31/03/2008	Post-Doc	CEA	Ingénieur de recherche	Non	Oui
Galéa François	H	Francois.Galea@pris.m.uvsq.fr	03/11/2010	Doctorat	Versailles	3	GSCOP	CDD	12mois	31/03/2009	Post-Doc	CEA	Ingénieur de recherche	Non	Oui
Guelton Liyun	F	Liyun.Guelton@imag.fr	01/2008	Ingénieur	Brest	0	MOAIS	Ingénieur expert	12 mois	31/12/2007					
PIGEON Laurent	H	laurent.pigeon@ifpenergiesnouvelles.fr	10/2010	Ingénieur	Grenoble	2	MOAIS	Ingénieur expert	3 mois	31/03/2007	CDI	IFP	Ingénieur de recherche	Non	Oui
TRAORE Daouda	H	Daouda.Traore@imag.fr	01/2010	Docteur	Grenoble	3	MOAIS	Ingénieur expert	3 mois	30/06/2009	Post-doc	Laboratoire	Post-doc	NON	Oui
SAULE Eric	H	esaule@bmi.osu.edu	11/2010	Docteur	Grenoble	3	MOAIS	Ingénieur expert	3 mois	21/12/2008	Post-doc	Laboratoire	Post-doc	NON	Oui
Brongniart Jérôme	H	jerome.brongniart@lifl.fr		Master	Lilles		DOLPHIN	CDD	24 mois						

Aide pour le remplissage

(1) Adresse email : indiquer une adresse email la plus pérenne possible

(2) Poste dans le projet : post-doc, doctorant, ingénieur ou niveau ingénieur, technicien, vacataire, autre (préciser)

(3) Durée missions : indiquer en mois la durée totale des missions (y compris celles non financées par l'ANR) effectuées sur le projet

- (4) Devenir professionnel** : CDI, CDD, chef d'entreprise, encore sur le projet, post-doc France, post-doc étranger, étudiant, recherche d'emploi, sans nouvelles
- (5) Type d'employeur** : enseignement et recherche publique, EPIC de recherche, grande entreprise, PME/TPE, création d'entreprise, autre public, autre privé, libéral, autre (préciser)
- (6) Type d'emploi** : ingénieur, chercheur, enseignant-chercheur, cadre, technicien, autre (préciser)
- (7) Lien au projet ANR** : préciser si l'employeur est ou non un partenaire du projet
- (8) Valorisation expérience** : préciser si le poste occupé valorise l'expérience acquise pendant le projet.

Les informations personnelles recueillies feront l'objet d'un traitement de données informatisées pour les seuls besoins de l'étude anonymisée sur le devenir professionnel des personnes recrutées sur les projets ANR. Elles ne feront l'objet d'aucune cession et seront conservées par l'ANR pendant une durée maximale de 5 ans après la fin du projet concerné. Conformément à la loi n° 78-17 du 6 janvier 1978 modifiée, relative à l'Informatique, aux Fichiers et aux Libertés, les personnes concernées disposent d'un droit d'accès, de rectification et de suppression des données personnelles les concernant. Les personnes concernées seront informées directement de ce droit lorsque leurs coordonnées sont renseignées. Elles peuvent exercer ce droit en s'adressant l'ANR (<http://www.agence-nationale-recherche.fr/Contact>).