

Remerciements

L'aventure de ce mémoire n'aurait pu se dérouler sans les personnes suivantes, que je tiens à remercier vivement :

- Pierre Audibert pour son accompagnement, sa patience et son intérêt pour l'aventure,
- Patrick Greussay pour sa curiosité sans limite, ses précieux conseils et ses discussions toujours stimulantes,
- Les professeurs du département MIME pour leur aide et l'enseignement qui m'a permis de lever les difficultés posées par les nombreux domaines traités ici,
- Umberto D'ortona, Bruce Boghosian, Harlan W. Stockman, Frédéric Quémeneur, Gordon Bell, Ray Andraka, Dominique d'Humières, Norman Margolus, Harris Gilliam, Stéphane Zaleski, James Buick, Benjamin Temko, Oleh Baran et bien d'autres encore pour leur patience, les discussions passionnantes (sur internet ou lors de rencontres) et surtout pour m'avoir communiqué leurs connaissances et expliqué les subtilités théoriques du modèle FHP et de la mécanique des fluides en général,
- La Communauté des Internauts pour sa connaissance infinie d'encyclopédie vivante et à laquelle ce mémoire est confié en retour.
- Vous, pour tenter de lire ce mémoire et d'essayer de comprendre ce qui est écrit, pour peut-être un jour réutiliser ces travaux.

Enfin, je serais ingrat d'oublier tous ceux et toutes celles dont le soutien m'aura permis de surmonter les nombreuses difficultés qui n'ont jamais manqué d'arriver aux mauvais moments. Je ne nommerai que ma mère et correctrice impartiale (encore merci pour les feutres de couleurs pour les graphes), mon stock de CD et mon casque, Yannick Sustrac (si tu lis ça, c'est que j'ai réussi à le faire, ce programme :-D), les Toriphiles (Michelle, Barb, Jessi), la faune du Bocal (Dominique), les poissons d'APRIL... Ce n'est pas parce que j'ai oublié le nom des autres que j'ai oublié leur aide. En fait j'ai tellement de personnes à remercier individuellement que je ne sais plus par où commencer et je ne voudrais pas faire de jaloux...

Résumé

L'objet de ce mémoire est d'expliquer certains aspects importants pour la performance d'un programme de calcul intensif. Le cadre précis est un programme interactif de simulation d'écoulements de fluides, sur une plateforme de type Intel Pentium. Le but du travail exposé ici est d'améliorer autant que possible les performances de ce programme, tant en vitesse qu'en flexibilité et en utilisabilité des résultats des calculs.

La fonction de ce programme est de faciliter et rendre accessibles ces calculs à des personnes a priori non spécialistes en informatique ou qui ne peuvent pas passer de temps à optimiser ce type de programmes.

Même s'il ne peut pas être exhaustif, ce mémoire aborde des sujets très variés autant théoriques que pratiques qui contribuent chacun à améliorer la performance du programme : physique, mécanique des fluides, mécanique statistique, structure des ordinateurs et des processeurs, fonctionnement des systèmes d'exploitation, assembleur, calculs booléens, synthèse logique, compilation, algorithmique, périphériques et interfaces...

Ce mémoire s'adresse aux informaticiens, dans la perspective d'améliorer leurs programmes pour les processeurs de la cinquième génération et au-delà, et aux physiciens, pour leur procurer un outil efficace d'exploration des gaz sur réseau. De nombreux autres domaines peuvent néanmoins bénéficier des points de vue discutés ici.

Nous étudions principalement un cas simple sans la prétention d'apporter d'amélioration directe dans le domaine scientifique. Le modèle étudié (FHP) sert de base, ou est proche des modèles plus évolués (Boltzman par exemple) qui peuvent bénéficier des améliorations décrites ici.

Quelques Remarques sur ce document

Ce mémoire a été rédigé directement en HTML dans un simple éditeur de texte, afin de faciliter sa diffusion électronique et sa maintenance sans outil spécialisé.

Le texte a été formaté pour être transformé par HTMLDOC dans le format PDF avant impression, ce qui explique la curieuse présentation du fichier HTML dans un brouteur. HTMLDOC est un programme diffusé sous licence GPL. Il a été réalisé par Mike Sweet et diffusé gratuitement à <http://www.easysw.com/htmldoc/>. Il est possible de générer aussi du POSTSCRIPT en modifiant les paramètres d'appel de HTMLDOC ou les fichiers .book.

Pour tout renseignement, contacter whygee@f-cpu.org. Ce mémoire est disponible en ligne sur le serveur du département MIME à l'adresse <http://www.mime.univ-paris8.fr/~whygee/memoire>. Il est diffusé dans l'espoir qu'il soit utile.

Aucune garantie n'est possible pour la reproductibilité des résultats, le fonctionnement d'un programme, l'exactitude des affirmations ou des formules. Il est destiné à un public averti des contraintes et des limites des modèles physiques utilisés qui doivent être utilisés dans un cadre soigneusement contrôlé. Toutes les marques déposées appartiennent à leurs propriétaires respectifs. Les programmes utilisent des fonctions de bas niveau qui peuvent être indisponibles selon les systèmes.

(C) Yann Guidon, 1995–2000

Révisions :

- Première impression : 13 septembre 2000 (5 exemplaires dont 4 avec annexes)
- Deuxième impression : 26 septembre 2000, 6 exemplaires et de nombreuses corrections

Table des matières

Chapitre	page
<u>Introduction</u>	1
<u>Partie I : Spécificités du Calcul Intensif</u> "approche épistémologico–socio–économico–culturelle"	3
<u>I.1 : Les nouveaux défis du calcul intensif</u>	3
<u>I.2 : Les images réalistes</u>	3
<u>I.3 : A propos de l'"optimisation"</u>	4
<u>I.4 : La montée des "PC"</u>	5
<u>I.5 : Les PC ne permettent pas de soutenir la performance de crête</u>	6
<u>I.6 : La convergence des algorithmes, des plateformes et des modèles</u>	8
<u>I.7 : La mentalité de l'optimisation</u>	8
<u>I.8 : Importance de l'interactivité</u>	9
<u>I.9 : Petit résumé</u>	10
<u>Partie II : Présentation du modèle physique</u>	11
<u>II.1 : Introduction</u>	11
<u>II.2 : Nomenclature</u>	11
<u>II.3 : Génèse</u>	11
<u>II.4 : Un premier modèle : HPP</u>	12
<u>II.5 : Caractéristiques du modèle HPP</u>	13
<u>II.6 : Le modèle FHP</u>	14
<u>II.7 : Les règles et les nouvelles propriétés de FHP–1</u>	15
<u>II.8 : Les améliorations de FHP–2</u>	17
<u>II.9 : Caractéristiques particulières du modèle FHP–3</u>	17
<u>II.10 : Propriétés physiques des modèles FHP</u>	18
<u>II.11 : Extensions diverses</u>	20
<u>II.12 : Conclusion</u>	21
<u>Partie III : Présentation des travaux antérieurs</u>	23
<u>III.1 : Introduction</u>	23
<u>III.2 : Idées de base</u>	23
<u>III.3 : Les plans temporaires</u>	24
<u>III.4 : Premier code de référence</u>	27
<u>III.5 : Influence de l'architecture</u>	29
<u>III.6 : Deuxième code de référence</u>	30
<u>III.7 : Conditions aux limites et effets de bords</u>	33
<u>III.8 : Remplissage et redimensionnement dynamique du tunnel</u>	35
<u>III.9 : Etude d'un cas réel : benchmark de von Karman</u>	36
<u>III.10 : Conclusion</u>	38

<u>Partie IV : Réalisation</u>	39
<u>IV.1 : Introduction</u>	39
<u>IV.2 : Intel : la plateforme idéale malgré elle</u>	39
<u>IV.3 : Description de l'algorithme de <i>strip mining</i></u>	43
<u>IV.4 : Nouvelle structure des données et méthode de calcul</u>	47
<u>IV.5 : Implémentation des parois</u>	49
<u>IV.6 : Algorithme d'affichage</u>	51
<u>IV.7 : Analyse booléenne de l'opérateur de collision</u>	54
<u>IV.8 : Techniques de programmation</u>	58
<u>IV.9 : Réalisation et résultats</u>	64
<u>Partie V : Plateformes dédiées</u>	67
<u>V.1 : Introduction</u>	67
<u>V.2 : RAP-1</u>	68
<u>V.3 : CAM-8</u>	69
<u>V.4 : EXA</u>	71
<u>V.5 : "Fourmi"</u>	72
<u>V.6 : Carte ISA</u>	73
<u>V.7 : Anneau de strip mining</u>	77
<u>V.8 : tableau de PAL</u>	78
<u>V.9 : Conclusion</u>	81
<u>Conclusion</u>	83
<u>1 : Avancées pour le domaine des gaz sur réseaux</u>	83
<u>1.1 : Approche globale du problème</u>	83
<u>1.2 : Organisation des données</u>	84
<u>1.3 : Strip mining</u>	85
<u>1.4 : Parois complexes</u>	86
<u>1.5 : Programmation en assembleur</u>	86
<u>1.6 : Une nouvelle formule</u>	87
<u>1.7 : Intégration complète de l'algorithme de visualisation dans celui du calcul</u>	87
<u>1.8 : Mesurer son code</u>	88
<u>2 : Conclusions des expériences</u>	88
<u>2.1 : FHP-3 est <i>memory bound</i> et <i>CPU bound</i> sur x86</u>	88
<u>2.2 : Il est possible de descendre à 3 cycles par octets</u>	89
<u>2.3 : A condition d'effectuer de nombreux efforts, il est possible d'utiliser des PC pour des calculs lourds</u>	89
<u>2.4 : Un PC équivaut presque à une CAM8</u>	89
<u>2.5 : La loi de Moore est trompeuse</u>	89
<u>2.6 : Le sujet des gaz sur réseaux booléens est loin d'être tari</u>	90
<u>3 : Sujets des recherches futures</u>	90
<u>3.1 : Mesurer la pression</u>	90
<u>3.2 : Emission de particules</u>	90
<u>3.3 : Multi-CPU</u>	91
<u>3.4 : Extension du code et du modèle</u>	91
<u>3.5 : Langage script</u>	91
<u>3.6 : Evolution de la plateforme</u>	91
<u>4 : Applications</u>	92
<u>4.1 : Acoustique</u>	92
<u>4.2 : Cryptographie</u>	92
<u>4.3 : Réalité Virtuelle / jeux vidéo</u>	93
<u>4.4 : Education</u>	93
<u>4.5 : Industrie</u>	93

<u>4.6 : Derniers mots sur les applications des LGA</u>	94
<u>5 : Limites du projet</u>	95
<u>6 : Et maintenant ?</u>	96
<u>Ressources bibliographiques</u>	97
<u>Liens</u>	105
<u>Annexe A : Sources des programmes</u>	A.1
<u>A.1 : fichier RESIZE.PAS</u>	A.2
<u>A.2 : fichier LABELS3.PAS</u>	A.2
<u>A.3 : fichier SP73.ASM</u>	A.5
<u>Annexe B : Article paru dans Pascalissime</u>	B.1
<u>Annexe C : Journal de bord</u>	C.1
<u>Annexe D : Etude comparative de codes sources</u>	D.1
<u>D.1 : Sous X11</u>	D.2
<u>D.2 : En Cellang</u>	D.9
<u>D.3 : En FORTRAN</u>	D.11
<u>D.4 : En C</u>	D.13
<u>D.5 : Toujours en C</u>	D.15
<u>D.6 : Dans un hypercube iPSC</u>	D.22
<u>D.7 : Conclusion</u>	D.25

