

# AQUARELS®

ATELIER DE QUALITÉ NUMÉRIQUE POUR LA RÉALISATION DE LOGICIELS SCIENTIFIQUES

**Fichier** **Élément** **Vue** **Options** Aide

▶ Dans le domaine du calcul scientifique, il est fréquent aujourd'hui de rencontrer des applications où le non respect d'une exigence de précision numérique a une incidence fonctionnelle.

**Comment maîtriser les erreurs numériques ?**

A cette question, l'atelier AQUARELS apporte des éléments de réponse, avec un environnement convivial permettant aux concepteurs d'applications scientifiques de contrôler les erreurs tout au long du cycle de vie (modélisation mathématique, discrétisation numérique, discrétisation arithmétique, ...) en fournissant méthodes et outils.

(utilisateur.info) Lancer AQUARELS  
Préc élément

The screenshot displays the AQUARELS software interface with several overlapping windows:

- Densité discrete. Histogramme en batons**: A window showing a histogram for the variable 'YIR Routine EQUA1 Occurrence No 1'. The y-axis is labeled 'bre d'échantillons' and ranges from 120.0 to 200.0. The x-axis is labeled 'Valeurs des échantillons'.
- continue. Methode du noyau**: A window showing a kernel density estimate plot for the same variable. The y-axis is labeled 'Fonction de Densité' and the x-axis is 'Valeurs des échantillons'. It includes a legend for 'Fonction de Densité' (solid line) and 'Loi Normale' (dotted line).
- Configuration**: A window with a menu bar (Configuration, Application, Fichier, Arithmétique, Perturbations, Formel, Aide) and a field for 'Application' set to 'stable\_sp'. It has an 'Analyser' button.
- Simple**: A window for simple analysis with fields for 'Application' (stable\_sp), 'Variable' (YIR), 'Sous-programme' (EQUA1), and 'Occurrence' (1). It has a 'Nombre d'échantillons' field set to 1000. Under the 'Densité' section, there are radio buttons for 'Continue', 'Continue et comparez', and 'Discrete avec histogramme en baton'. The 'Continue et comparez' option is selected. There are also fields for 'Nombre de points' (80) and 'Nombre de barres' (10). It has 'Analyser', 'Editer', 'Annuler', and 'Aide' buttons.
- etmcs-19.13@simtoui**: A terminal window showing the output of the analysis, including file paths and statistical results.

## L'ENVIRONNEMENT AQUARELS

AQUARELS apporte la flexibilité dans l'évolution des codes scientifiques. Les moyens d'évaluation de la qualité numérique initiale d'un simulateur permettent la définition d'actions de réingénierie ponctuelles qui sont mises en œuvre au sein d'AQUARELS.

- Les bibliothèques scientifiques accroissent la modularité du code, apportant un gain de flexibilité et de qualité.
- L'outil de réingénierie FORESYS assure l'analyse du Fortran et autorise le redéveloppement et la standardisation du code.
- Le codage sous forme symbolique et la traduction automatique en langage Fortran améliorent la productivité des développements nouveaux.
- L'aide en ligne et le tuteur de qualité numérique assurent la formation de l'ingénieur.

AQUARELS permet ainsi l'évolution contrôlée des logiciels de calcul scientifique afin de s'adapter aux progrès des techniques mathématiques ou informatiques et aux exigences de l'étude de nouveaux produits industriels.

## LE PROJET AQUARELS

L'atelier AQUARELS est issu d'une collaboration entre le CNES, le CEA/DAM, la DGA/DRET, SIMULOG et l'INRIA/IRISA.

*SIMULOG assure le développement de la structure d'accueil et l'intégration des différents outils de l'atelier. L'INRIA/IRISA a défini le contenu de l'atelier par transfert de ses activités de recherche, et en assure le suivi scientifique.*



Institut National de Recherche  
en Informatique et Automatique  
Campus de Beaulieu  
35042 Rennes Cedex



Simulog - 1, Rue James Joule  
78286 Guyancourt Cedex - France  
Tél. : (+33) 1 30 12 27 00 - Fax : (+33) 1 30 12 27 27  
Email : info@simulog.fr  
Web : http://www.simulog.fr

Le CNES, le CEA/DAM et la DGA/DRET apportent leur grande expérience des outils et des problèmes liés à la qualité numérique.



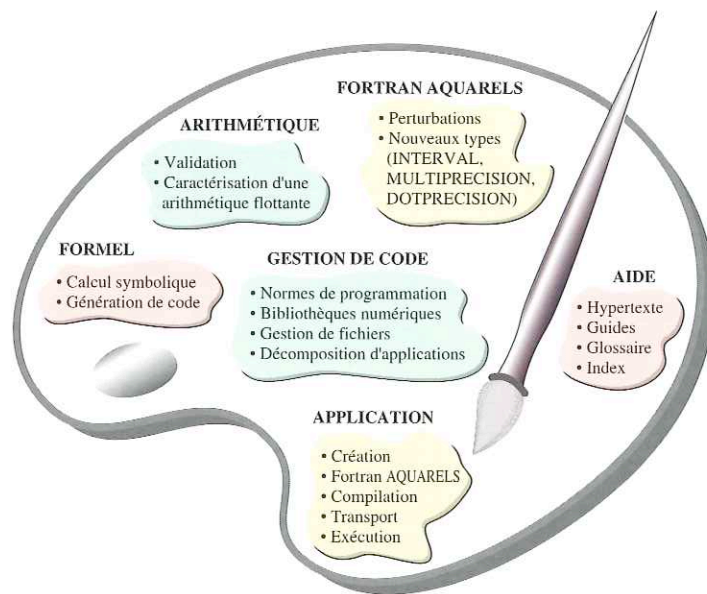
CEA/L-V  
94195 Villeneuve St-Georges Cedex



Direction de la Recherche et de la Technologie  
DGA/DRET  
00460 Armée



L'AGENCE FRANÇAISE DE L'ESPACE  
Centre Spatial de Toulouse  
CT/TI/MS/MN  
18 Avenue Edouard Belin - 31055 Toulouse Cedex  
Tél. : (+33) 61 27 34 29 - Fax : (+33) 61 28 18 55  
Email : atelier-aquarels@aquarels.cst.cnes.fr



### Fonctionnalités

#### Langage Fortran AQUARELS

- Perturbations des opérations et des données avec analyses statistiques et visualisation graphique
- Types étendus : INTERVAL, MULTIPRECISION, DOTPRECISION permettant de maîtriser la précision numérique sur chaque machine
- Précompilation du langage Fortran AQUARELS en Fortran 77 ANSI pour la portabilité du code

#### Analyse de l'arithmétique des machines

- Validation des unités arithmétiques, vérification du respect de la norme IEEE 754

#### Environnement de programmation

- Normes de programmation
- Outil de réingénierie Fortran : FORESYS
- Bibliothèques numériques
- Gestion des fichiers
- Modularisation d'applications

#### Calcul Formel : intégration avec Maple V

#### Aide hypertexte en ligne

*AQUARELS est disponible sur stations de travail fonctionnant sous Unix, X-Window et Motif.*

*Simulog assure la distribution, la maintenance et les prestations de service et de formation autour d'AQUARELS.*



# AQUARELS® : SIMULATION NUMÉRIQUE

La simulation numérique est aujourd'hui la méthode privilégiée pour l'étude des systèmes physiques. Pour obtenir des résultats représentatifs des phénomènes physiques, un programme de calcul scientifique associe un modèle mathématique du problème réel à des méthodes numériques de résolution. Pour valider les résultats de simulation, il faut évaluer la propagation des erreurs d'arrondi dues à l'arithmétique des ordinateurs, ainsi que l'influence des erreurs de données sur le résultat obtenu. Ce processus permet de placer une confiance justifiée dans les résultats.

Chacune des étapes de la réalisation et de la mise en œuvre d'un logiciel de calcul scientifique peut être la source d'erreurs numériques. AQUARELS est un environnement complet pour la qualité numérique permettant de valider un logiciel scientifique dans toutes les étapes de son cycle de vie : conception, développement, exploitation, modification.

## ANALYSE DE LA QUALITÉ NUMÉRIQUE DES LOGICIELS

L'environnement AQUARELS permet de mesurer et d'accroître le champ de validité des codes de simulation écrits en Fortran grâce à un ensemble d'outils pour la qualité numérique.

- Le diagnostic de la robustesse numérique d'un code est effectué dans AQUARELS par la méthode des perturbations. Cette méthode consiste à provoquer des erreurs d'arrondi volontaires dans un code, et permet ainsi d'analyser la sensibilité d'un algorithme aux erreurs de calcul, la sensibilité du problème aux données initiales, et de repérer les zones sensibles dans un programme grâce à l'insertion de directives au sein du code.
- La perturbation des opérations arithmétiques de base contenues dans le code (addition, soustraction, multiplication, division) est réalisée sur le bit d'arrondi des résultats.
- Les données sont perturbées sur un nombre de bits défini par l'utilisateur.

L'ensemble des résultats obtenus est automatiquement archivé et subit une analyse statistique qui permet de déterminer le champ de validité du logiciel.

- L'environnement AQUARELS permet de mesurer la qualité numérique des unités arithmétiques des plates-formes utilisées pour les simulations. Cette analyse permet de maîtriser la validité des résultats lors du changement de plate-forme hôte.

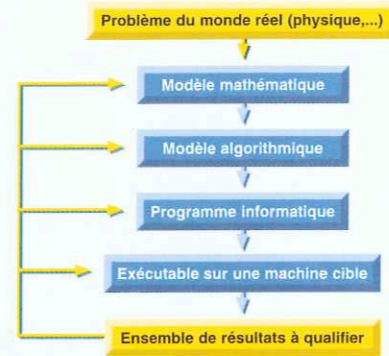
AQUARELS permet ainsi de rendre l'environnement des codes de calcul scientifique plus réactif aux évolutions des techniques et des environnements d'exploitation.

- AQUARELS fournit deux outils pour analyser la qualité numérique des unités arithmétiques des calculateurs :

- L'outil MACHAR détermine automatiquement un ensemble de paramètres fondamentaux associés à l'arithmétique virgule flottante d'une machine : plus grand et plus petit réels positifs représentables, mode d'arrondi pour l'addition, etc. Ces résultats sont archivés pour chaque machine dans AQUARELS, et consultables par l'utilisateur.
- L'outil PARANOIA teste la conformité à la norme arithmétique virgule flottante IEEE 754. Les divergences par rapport à la norme sont détectées et classées par ordre de gravité croissante.

- Deux outils permettent de tester la qualité des fonctions mathématiques élémentaires des compilateurs Fortran :
- L'outil ELEFUNT vérifie des identités remarquables sur les fonctions élémentaires et fournit des valeurs statistiques sur les résultats obtenus (erreur relative maximale, etc.)

## Les étapes du développement d'un logiciel scientifique



Chaque transformation est une source d'approximations qui provoque des "perturbations" dans les résultats.

Développement et erreurs numériques : L'environnement AQUARELS autorise la mise en œuvre d'un processus d'Assurance-Qualité dans le développement, l'exploitation et la réingénierie d'un logiciel. Son utilisation permet de s'assurer du niveau de Qualité Numérique souhaité pour une application scientifique.

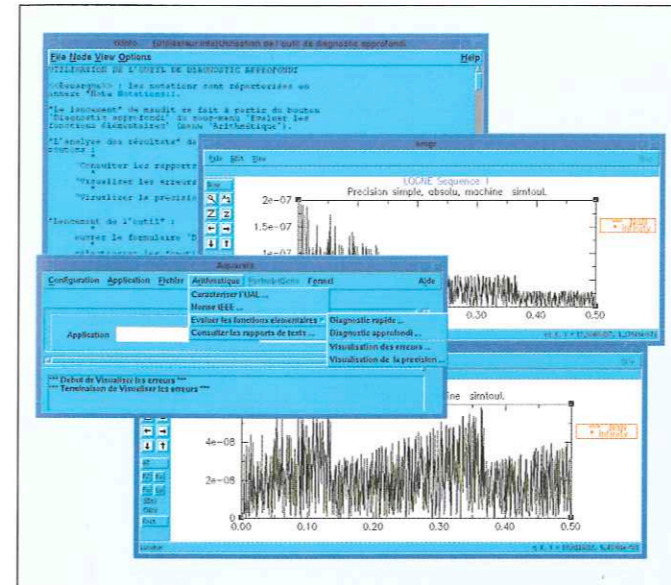
- L'outil MAUDIT procède par comparaison à des références. Il produit un traitement statistique et une représentation graphique sur les erreurs relatives et absolues, la précision des fonctions, pour une ou plusieurs machines données.

## QUALITÉ NUMÉRIQUE DES DÉVELOPPEMENTS

AQUARELS propose un ensemble de modules pour le développement de logiciels, ainsi que des fonctionnalités de gestion automatique de configuration des sources.

- AQUARELS offre l'extension de Fortran 77 vers des fonctionnalités adaptées à la maîtrise de la qualité numérique. Ces extensions sont regroupées au sein du Fortran AQUARELS, qui propose les possibilités suivantes :

- Fortran AQUARELS dispose d'une arithmétique paramétrée, indépendante de l'architecture cible (type Multiprécision). L'arithmétique flottante Multiprécision permet de choisir le nombre de chiffres significatifs de la mantisse, et de fixer ainsi la précision.



Évaluation des fonctions élémentaires par diagnostic approfondi : L'environnement AQUARELS offre un ensemble d'outils d'évaluation des plates-formes scientifiques intégré à un environnement convivial.

Développement en Fortran AQUARELS : Fortran AQUARELS propose un ensemble d'extensions spécifiques au contrôle et à l'amélioration de la Qualité Numérique. L'environnement AQUARELS gère automatiquement la précompilation du code, ce qui assure la stricte conformité au standard Fortran 77 ANSI.

- Est également disponible une arithmétique d'intervalle qui autorise la manipulation de valeurs représentant des intervalles des types de base (type Interval). L'arithmétique d'intervalle permet d'encadrer les résultats de calcul dans des bornes sûres. Les intervalles peuvent aussi être définis sur les types Multiprécision du Fortran AQUARELS.

- L'arithmétique Dot Précision permet de réduire l'erreur inhérente à toute opération de type produit scalaire.
- Fortran AQUARELS assure la gestion des perturbations.
- Fortran AQUARELS permet de diriger l'arrondi d'addition, de soustraction, de multiplication et de division. Les arrondis provoqués par les erreurs de conversion décimale/binaire sont également contrôlables.

Les programmes Fortran AQUARELS sont précompilés en Fortran 77, transformant les extensions en appels de bibliothèques. Le code final est strictement compatible avec le standard Fortran 77.

- Fortran AQUARELS propose de plus une gestion étendue des constantes mathématiques, physiques et informatiques. Les constantes mathématiques et physiques sont indépendantes de la machine cible, et fournissent le maximum de précision pour des constantes telles que  $\pi$  ou  $e$ . Les constantes arithmétiques sont dédiées à chaque machine.

- AQUARELS aide l'utilisateur à gérer un code scientifique par des procédures automatiques de transfert, d'exécution sur une machine distante et de rapatriement des résultats. Il dispose d'outils de manipulation de fichiers.

- L'utilisateur a la possibilité de contrôler les normes de programmation de ses sources grâce à l'outil FORESYS. FORESYS propose des moyens simples de correction, et permet une restructuration du code.

- AQUARELS intègre le système de calcul formel Maple et son générateur automatique de Fortran 77. Maple offre un support de haute qualité pour le développement d'une application scientifique.

L'ensemble de ces fonctionnalités d'aide à la programmation garantit une qualité de codage optimisée qui permet de réduire à la source l'importance potentielle des erreurs numériques au sein d'un logiciel.