

EDF R&D



FLUID DYNAMICS, POWER GENERATION AND ENVIRONMENT DEPARTMENT  
SINGLE PHASE THERMAL-HYDRAULICS GROUP

6, QUAI WATIER  
F-78401 CHATOU CEDEX

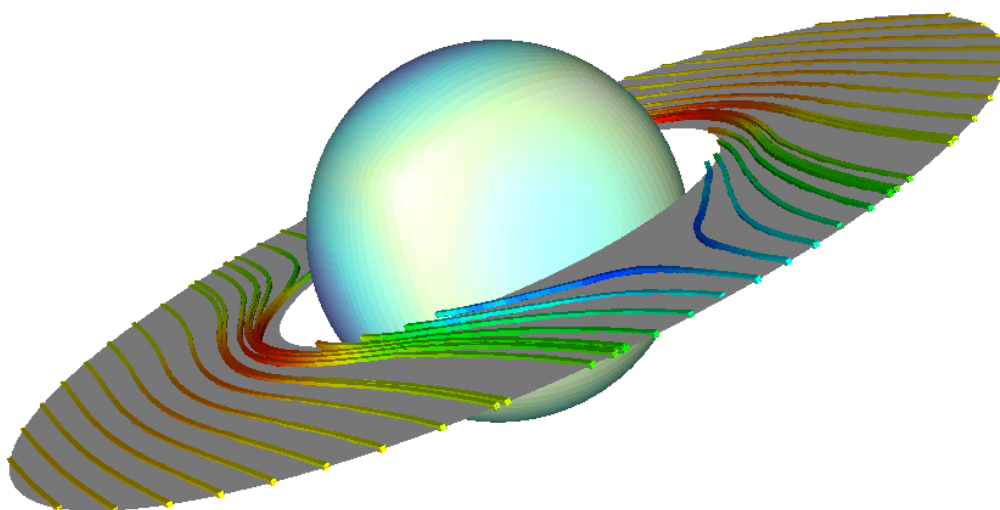
TEL: 33 1 30 87 75 40  
FAX: 33 1 30 87 79 16

JULY 2010

*Code\_Saturne* documentation

***Code\_Saturne* version 1.3.2 :  
manuel informatique du Préprocesseur**

contact: saturne-support@edf.fr



## SYNTHÈSE

Ce document a été conçu comme un manuel pour développeur : il a pour objectif de permettre à un développeur de trouver certaines informations particulières et d'aider un futur développeur à pénétrer le code.

Cependant, on ne trouvera rien dans ce document de ce qui pourrait être obtenu par un utilitaire de documentation automatique (comme une référence de fonctions par exemple).

Les essais de documentation automatique, qui ont précédé l'écriture de ce document, se sont avérés positifs : avec des utilitaires, on peut générer des documents exploitables<sup>1</sup> qui contiennent tout ce qui serait pénible à transcrire sous traitement de texte, plus ou moins manuellement. L'utilité de ce qui est produit est par contre assez limitée pour un développeur qui a de toutes façons accès à l'ensemble des sources, et qui utilise un environnement de développement performant permettant notamment de suivre les appels de fonctions dans les sources.

Au contraire, ce document comporte, soit des informations synthétiques sur la structure du code, soit des informations précises sur des points particuliers de programmation.

Les deux premiers chapitres donnent une description du contexte dans lequel s'inscrit le Préprocesseur ainsi qu'un aperçu global des fonctionnalités associées.

Les trois chapitres suivants exposent la manière dont le Préprocesseur a été structuré et les principes qui ont été à la base de son architecture.

Les quatre derniers chapitres intéresseront au premier chef les programmeurs, directement concernés par les outils mis en place dans le Préprocesseur, permettant d'intégrer de nouvelles fonctionnalités.

### Conventions typographiques

Les conventions typographiques suivantes sont utilisées dans le Préprocesseur :

- le vocabulaire propre au Préprocesseur est écrit dans *la police de caractères penchée* (exemples : *entité de maillage, champ*).

Les mots dans cette police sont automatiquement référencés dans l'index en fin de document.

- le vocabulaire relatif à l'approche « objet » ou au langage *UML* est dans *la police de caractères italique* (exemples : *classe, paquetage*).

Ces mots sont automatiquement référencés dans l'index.

- les noms des catégories « objet » propres au Préprocesseur sont dans la police de caractères « sans sérif » (exemples : EntitéMaillage, Champ).

Ces mots sont automatiquement référencés dans l'index.

- la police de caractères « courrier » est réservée à la transcription du code en langage C ou des instructions UNIX.

Certains noms de types définis, de fichiers ou de fonctions sont référencés dans l'index.

---

<sup>1</sup> Avec l'utilitaire Doxygen, on obtient une documentation au format HTML très complète avec la prise en compte de certains commentaires des sources. L'utilitaire cxref permet de produire une documentation plus compacte qui peut être sortie sur papier.

## SOMMAIRE

<b>1 Rôle du Préprocesseur dans le Code_Saturne</b>	10
1.1 Code_Saturne	10
1.2 ÉCHANGES AVEC LE PRÉPROCESSEUR	10
<b>2 Cas d'utilisation du Préprocesseur</b>	13
2.1 ACTEURS	13
2.2 CAS D'UTILISATION	13
<b>3 Choix techniques</b>	15
3.1 MODÉLISATION OBJET	15
3.2 INTERFACE AVEC L'UTILISATEUR	15
3.3 LANGAGE DE PROGRAMMATION	15
<b>4 Définition des concepts clés</b>	19
4.1 MAILLAGE	19
4.1.1 Connectivité	19
4.1.2 Type géométrique	20
4.1.3 Étiquette	20
4.1.4 Propriété	20
4.1.5 Filiation	20
4.2 ENTITÉ DE MAILLAGE	21
4.3 CHAMP	21
4.4 FAMILLE	22
<b>5 Classes</b>	23
5.1 MAILLAGE	23
5.1.1 Relations de la classe <i>Maillage</i>	23
5.1.2 Attributs et méthodes de la classe <i>Maillage</i>	24
5.2 ENTITÉMAILLAGE	25
5.2.1 Généralisation des entités de maillage	25
5.2.2 Relations de la classe <i>EntitéMaillage</i>	25
5.3 CONNECTIVITÉ	26
5.3.1 Généralisation des connectivités	26
5.3.2 Relations de la classe <i>Connectivité</i>	26
5.4 FAMILLE	27
5.5 CHAMP	27
5.5.1 Classification des champs	28
5.5.2 Attributs de la classe <i>Champ</i>	28

5.5.3	<i>Relations de la classe Champ</i>	28
5.6	DESCRIPTEUR	30
6	<b>Implémentation et configuration logicielle en langage C</b>	33
6.1	IMPLÉMENTATION EN C	33
6.1.1	<i>Approche objet</i>	33
6.1.2	<i>Approche objet en C</i>	34
6.1.3	<i>Implémentation de l'approche objet dans le Préprocesseur</i>	35
6.2	CONFIGURATION LOGICIELLE	36
6.2.1	<i>Organisation du Préprocesseur en sous-systèmes</i>	36
6.2.2	<i>Visibilité des classes</i>	37
6.3	CORRESPONDANCE ENTRE STRUCTURES C ET CLASSES	40
6.3.1	<i>Types de base</i>	40
6.3.2	<i>Maillage</i>	41
6.3.3	<i>Entité de maillage</i>	42
6.3.4	<i>Connectivité</i>	42
6.3.5	<i>Famille</i>	43
6.3.6	<i>Champ</i>	43
6.3.7	<i>Descripteur</i>	45
6.4	STRUCTURES VECTEUR INDEXÉ	45
6.4.1	<i>Vecteur Indexé</i>	46
6.4.2	<i>Lien entre les « positions » et les « valeurs »</i>	47
6.5	AUTRES STRUCTURES	49
7	<b>Utilisation de la structure objet</b>	53
7.1	MISE EN PLACE DES RELATIONS DE VISIBILITÉ	53
7.2	UTILISATION DES RELATIONS ENTRE PAQUETAGES	53
7.2.1	<i>Fonctions liées à une structure C</i>	53
7.2.2	<i>Appel d'une fonction sur une structure visible</i>	54
7.3	UTILISATION DE LA STRUCTURE champ	55
7.3.1	<i>Utilisation d'un champ existant non modifié</i>	56
7.3.2	<i>Utilisation d'un champ existant à modifier</i>	56
7.3.3	<i>Création d'un champ</i>	57
7.3.4	<i>Rattachement d'un champ à une entité de maillage</i>	58
7.4	UTILISATION DE LA STRUCTURE vecteur indexé	60
8	<b>Conventions et règles</b>	61
8.1	NOMMAGE	61

8.1.1	<i>Généralités</i>	61
8.1.2	<i>Nommage des énumérations</i>	61
8.1.3	<i>Nommage des classes</i>	61
8.2	<b>PRÉSENTATION DES SOURCES</b>	62
8.2.1	<i>Généralités</i>	62
8.2.2	<i>Présentation des fonctions</i>	63
8.3	<b>PROGRAMMATION</b>	63
8.3.1	<i>Langage</i>	63
8.3.2	<i>Règles de programmation</i>	63
8.3.3	<i>Assertions</i>	64
8.3.4	<i>Constantes nommées</i>	64
8.3.5	<i>Internationalisation</i>	65
8.3.6	<i>Fonctions utilitaires</i>	65
9	<b>Compilation et aide au débogage</b>	67
9.1	<b>COMPILATION</b>	67
9.1.1	<i>Configuration pour la compilation</i>	67
9.1.2	<i>Options de compilation</i>	68
9.1.3	<i>Variables d'environnement dépendantes du système d'exploitation</i>	68
9.2	<b>MÉMOIRE ET CHRONOMÉTRIE</b>	69
9.2.1	<i>Mémoire</i>	69
9.2.2	<i>Chronométrie</i>	69
9.3	<b>IMPRESSION DE LA STRUCTURE MAILLAGE</b>	70
10	<b>Perspectives de développement</b>	71
10.1	<b>AMÉLIORATIONS DU CODAGE DU PRÉPROCESSEUR</b>	71
10.2	<b>EVOLUTIONS DU CODE</b>	71
A	<b>Fichier impression de la structure maillage et de ses structures composantes</b>	75



## Liste des figures

2.1	Cas d'utilisation	14
4.1	Filiation pour maillage <i>Igg Hexa</i>	21
5.1	Relations de la classe	24
5.2	Description de la classe <b>Maillage</b>	25
5.3	Généralisation des <i>entités de maillage</i>	25
5.4	Relations de la classe <b>EntitéMaillage</b>	26
5.5	Relations de la classe <b>Connectivité</b>	27
5.6	Relations de la classe <i>famille</i>	27
5.7	Classification des <i>champs</i>	29
5.8	Relations de la classe <b>Champ</b>	30
5.9	Classification des <i>descripteurs</i>	30
5.10	Relations de la classe <b>Descripteur</b>	31
6.1	Organisation du Préprocesseur en sous-systèmes	37
6.2	Relations de dépendances entre structures	38
6.3	Fichiers types d'un <i>paquetage</i>	38
6.4	Relation type de dépendance entre <i>paquetages</i>	39
6.5	Tableaux des membres de la structure <code>ecs_maillage_t</code>	41
6.6	Tableau des <i>champs</i> d'une <i>entité de maillage</i>	42

## Liste des types définis et des structures C

1	Types de base (1) (fichier source <code>ecs_def_glob.h</code> )	40
2	Types de base (2) (fichier source <code>ecs_tab_glob.h</code> )	41
3	Structure <code>ecs_maillage_t</code> (fichier source <code>ecs_maillage_priv.h</code> )	41
4	Structure <code>ecs_entmail_t</code> (fichier source <code>ecs_entmail_priv.h</code> )	42
5	Structure <code>ecs_connect_t</code> (fichier source <code>ecs_connect_priv.h</code> )	43
6	Structure <code>ecs_famille_t</code> (fichier source <code>ecs_famille_priv.h</code> )	43
7	Structure <code>ecs_champ_t</code> (fichier source <code>ecs_champ_priv.h</code> )	43
8	Structure <code>ecs_descr_t</code> (fichier source <code>ecs_descr_priv.h</code> )	45
9	Structure <code>ecs_vec_int_t</code> (fichier source <code>ecs_vec_int_priv.h</code> )	46
10	Structure <code>ecs_vec_real_t</code> (fichier source <code>ecs_vec_real_priv.h</code> )	47

## Liste des exemples

7.1	Appel d'une fonction sur une structure visible (1)	54
7.2	Appel d'une fonction sur une structure visible (2)	55
7.3	Utilisation d'un <i>champ</i> existant non modifié	56
7.4	Utilisation d'un <i>champ</i> existant à modifier	56
7.5	Création d'un <i>champ</i> à partir d'un <i>vecteur indexé</i>	57
7.6	Création complète d'un <i>champ</i>	58
7.7	Rattachement d'un <i>champ</i> à une <i>entité de maillage</i>	59
7.8	Utilisation d'un <i>vecteur indexé</i> de travail	60
8.1	Nommage pour un <i>descripteur</i> (1)	62
8.2	Nommage pour un <i>descripteur</i> (2)	62

EDF R&D	<i>Code_Saturne</i> version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur	<i>Code_Saturne</i> documentation Page 8/78
---------	---	---

## Première partie

# Présentation du Préprocesseur





# 1 Rôle du Préprocesseur dans le *Code\_Saturne*

Ce chapitre replace le Préprocesseur dans le contexte du *Code\_Saturne* dont elle est une des composantes.

Pour de plus amples informations sur le rôle initialement joué par le Préprocesseur au sein du *Code\_Saturne*, on se reportera utilement à la référence [4].

## 1.1 *Code\_Saturne*

Le *Code\_Saturne* a été conçu comme un système modulaire, de manière à séparer distinctement différentes fonctionnalités du code. Initialement, un premier module, appelé Noyau, regroupait les aspects physico-numériques du *Code\_Saturne*, tandis que le second gérant les communications et les échanges de données entre le Noyau et l'extérieur du système et jouait ainsi le rôle d'Enveloppe vis-à-vis du Noyau.

Ces modules sont bien distincts, au point de constituer deux exécutables différents. De manière générale, toutes les données utilisées ou fournies dont la représentation ne correspond pas bien au modèle de données de bas niveau du Noyau passaient initialement par le module Enveloppe. Aujourd'hui, ce rôle anciennement dévolu à l'Enveloppe est assuré principalement via la librairie FVM (qui peut être vue comme un successeur à terme de l'Enveloppe), qui est directement appelée par le Noyau. L'Enveloppe assure donc principalement le rôle de Préprocesseur, et a été renommée dans ce sens.

Le Noyau implémente un solveur Navier-Stokes volumes finis colocalisé [5]. Il permet la résolution des équations de Navier-Stokes stationnaires ou instationnaires 3D, pour les écoulements laminaires ou turbulents, incompressibles ou dilatables, avec scalaires passifs et variance de ces derniers.

La description géométrique du *maillage*, à fournir en entrée du Noyau, fait abstraction des *types géométriques des éléments de maillage*. La géométrie du *maillage*, à fournir en entrée du Noyau, se limite en général à la donnée :

- de la connectivité « faces → cellules » ;
- de la connectivité « faces internes → sommets » ;
- de la connectivité « faces de bord → sommets » ;
- des coordonnées des sommets ;
- de familles<sup>2</sup> des faces de bord et des cellules.

Ce type de représentation géométrique du *maillage* n'est pas celle que fournissent les mailleurs : ils donnent en général une description en connectivité nodale du *maillage*.

Une première fonctionnalité du Préprocesseur consiste donc à transformer la description géométrique du *maillage* issue d'un mailleur dans la représentation lisible par le Noyau.

Le Préprocesseur pourra lire plusieurs *maillages* éventuellement non conformes et réaliser leur recollement conforme (par découpage de faces non conformes en sous-faces conformes).

Le Préprocesseur doit se charger aussi de la production de données associées à la vérification des maillages qui soient visualisables avec des outils externes de post-traitement.

## 1.2 Échanges avec le Préprocesseur

On énumère ici les différents échanges possibles avec le Préprocesseur :

- échange avec les mailleurs : le Préprocesseur lit les *maillages* dans les formats spécifiques aux mailleurs ;
- échange avec le Noyau : le Préprocesseur transmet au Noyau les données du *maillage* dans la représentation spécifique du Noyau ;
- échange avec les outils de post-traitement : le Préprocesseur peut transcrire ces mêmes données dans les formats lisibles par les outils de post-traitement (à des fins de vérification) ;

<sup>2</sup>Description compactée des couleurs et groupes

EDF R&D	<b>Code_Saturne version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur</b>	Code_Saturne documentation Page 11/78
---------	--	---

- Enfin, dans la cadre de la parallélisation du Noyau par découpage de domaines, le Préprocesseur gère les appels à un découpeur de domaines, et surtout assure la correspondance entre les données «internes» définies sur des sous-domaines (côté Noyau) et les données «externes» (de type maillage, post-traitement, fichier de suite de calcul, etc.)

Le Préprocesseur n'est pas lié *a priori* à un ensemble figé de systèmes externes (mailleurs et outils de post-traitement). Il doit donc être en mesure d'intégrer de nouveaux formats d'échange de données avec d'autres systèmes externes.

EDF R&D	<i>Code_Saturne</i> version 1.3.2 : <b>manuel informatique du Préprocesseur</b>	<i>Code_Saturne</i> documentation Page 12/78
---------	--	--

## 2 Cas d'utilisation du Préprocesseur

### 2.1 Acteurs

La seule entité externe qui peut interagir directement avec le Préprocesseur est l'utilisateur. On précise ci-dessous le rôle qu'il joue par rapport au Préprocesseur.

L'utilisateur doit nécessairement spécifier au Préprocesseur les fichiers de *maillage* qui devront être traités. Si plusieurs fichiers de *maillage* sont spécifiés, il doit indiquer s'il est nécessaire de les recoller.

L'utilisateur reçoit en échange les fichiers destinés au Noyau, ainsi éventuellement que des fichiers de post-traitement.

### 2.2 Cas d'utilisation

Il s'agit dans cette section de répertorier les services rendus par le Préprocesseur.

**Cas d'utilisation 1 : Lecture des données des *maillages*** Le cas d'utilisation est déclenché par l'utilisateur qui doit spécifier les noms des fichiers de maillage à lire (ainsi que leur format si l'extension n'est pas connue).

Plusieurs formats de fichier de maillage sont reconnus, comme indiqué dans le manuel d'utilisation. Chaque *maillage* lu est stocké dans une représentation interne au Préprocesseur.

La lecture du *maillage* proprement dite est dissociée de la mise en forme des données du *maillage* dans la représentation interne au Préprocesseur. La prise en compte dans le *Code\_Saturne* d'un nouveau format de fichier de maillage peut dès lors facilement s'intégrer dans le Préprocesseur (cf. § 1.2, page 10).

Les données à lire peuvent provenir de plusieurs fichiers, dont les formats peuvent être différents. Les *maillages* sont alors concaténés.

**Cas d'utilisation 2 : Concaténation de *maillages*** Puisque chaque *maillage* lu est converti dans la représentation interne au Préprocesseur, des *maillages* issus de fichiers ayant des formats différents peuvent être concaténés.

La concaténation de plusieurs *maillages* ne suppose aucune opération sur le *maillage* résultant de la concaténation.

Ce cas d'utilisation est une extension du premier cas d'utilisation.

**Cas d'utilisation 3 : Recollement de *maillages* ou périodicité** Le recollement permet de souder des *maillages* concaténés, en découpant des faces de bord non conformes en sous-faces correspondant à leurs intersections, puis en fusionnant les sous-faces issues de ce découpage (et donc conformes) en vis-à-vis.

Si les *maillages* à recoller partagent des interfaces conformes, le recollement revient à fusionner les *sommets* ayant les mêmes coordonnées, ainsi que les *arêtes* et *faces* s'appuyant sur ces *sommets*.

Le recollement périodique est une extension du recollement de *maillages* consistant à dupliquer les faces sélectionnées, de leur appliquer la transformation géométrique correspondant au pas périodique, puis d'effectuer un recollement entre les faces d'origine et les faces dupliquées, en reproduisant le découpage des faces recollées sur les faces dont elles sont issues. Les faces temporaires dupliquées puis translattées ne participant pas recollement sont supprimées.

C'est en général l'utilisateur qui déclenche ce cas d'utilisation,<sup>3</sup> sauf lorsque le *maillage* contient des informations sur le recollement (cas des *maillages Igg Hexa*).

<sup>3</sup>En présence de plusieurs fichiers de maillage, le Préprocesseur pourrait réaliser systématiquement le recollement de *maillages* mêmes si les *maillages* sont déjà conformes. Mais le recollement de faces appartenant à des parois minces n'étant pas désiré, et les tolérances à appliquer au recollement pouvant varier selon les zones, il est préférable qu'il soit déclenché par l'utilisateur, qui sait si le recollement est nécessaire.

**Cas d'utilisation 4 : Découpage du domaine** Le découpage du domaine de calcul est utilisé lorsque le Noyau doit s'exécuter en mode parallèle. Chaque processeur devra travailler sur un domaine, en synchronisant ses données avec ses voisins par passage de messages.

C'est l'utilisateur qui devra s'assurer d'utiliser les options d'exécution correspondantes pour le Noyau.

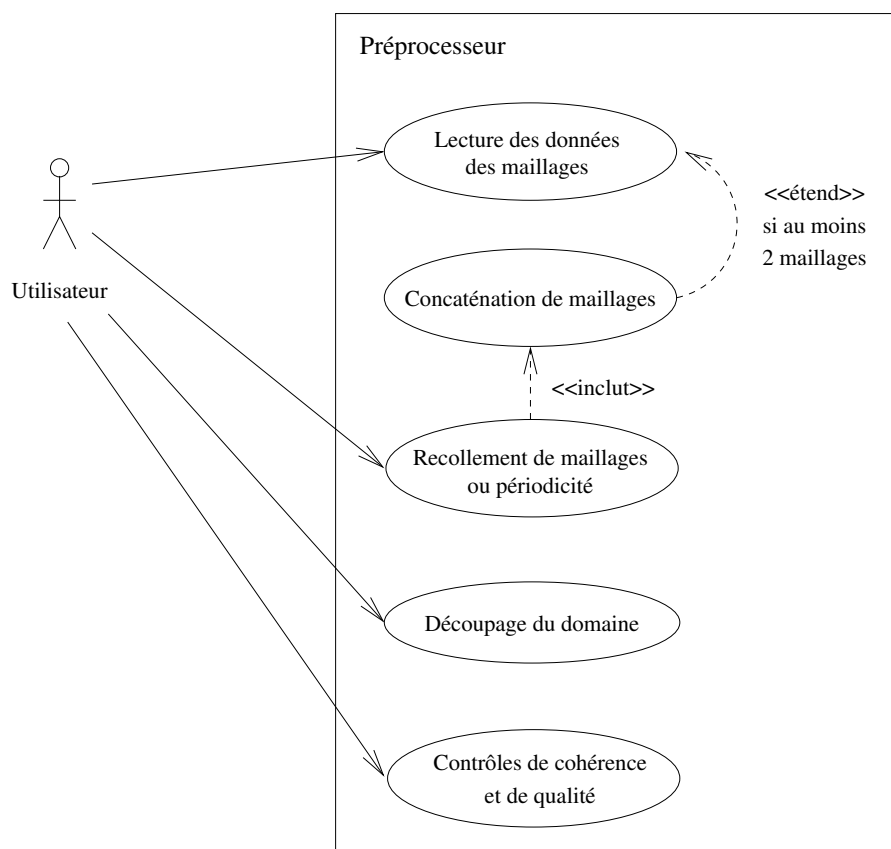
**Cas d'utilisation 5 : Vérification de maillage** Certains contrôles de cohérence peuvent être effectués par le Préprocesseur.

**Cas d'utilisation 6 : Écriture du *maillage* pour le post-traitement** La description géométrique du *maillage* est écrite sur fichier pour la vérification avec un outil de post-traitement. Ce cas d'utilisation est une extension du cas précédent.

Trois formats de fichier de post-traitement sont possibles : *EnSight Gold*, *MED*, ou *CGNS*. Il est possible d'effectuer les sorties dans plusieurs formats simultanément.

**Cas d'utilisation 7 : Écriture des données spécifiques au Noyau** Les données spécifiques au Noyau sont écrites par le Préprocesseur, pour le Noyau.

On rappelle que le rôle du Préprocesseur vis-à-vis du Noyau consiste justement à lui fournir les données du *maillage* dans une représentation spécifique. Ces données spécifiques sont décrites au § 1.1.



**Figure 2.1:** Cas d'utilisation

## 3 Choix techniques

### 3.1 Modélisation objet

On utilise une approche objet dans l'analyse des différentes données à traiter et des opérations à réaliser. Ceci permet une bonne structuration des données, et l'utilisation de variables « arborescentes » plutôt que globales est facilitée (ce qui est important, car pour certaines opérations, notamment le recollement de maillages, on a besoin de plusieurs structures complètes et non d'une seule).

En ce qui concerne la conception et le codage, on n'adopte pas dans le Préprocesseur une approche purement objet, mais on cherchera à représenter les entités de haut niveau sous forme d'objets, et représenter les entités de plus bas niveau via des *champs* typés et/ou nommés définissant ou s'appliquant à des tableaux ou listes d'entités, et non à des entités individuelles.

Ceci afin d'obtenir une implémentation efficace, sans nécessiter de relations d'héritage, ni pour autant obtenir un nombre important de classes dont beaucoup seraient très proches les unes des autres.

### 3.2 Interface avec l'utilisateur

On envisageait au départ de faire de le Préprocesseur une bibliothèque partagée, utilisable depuis un interpréteur *Python*, afin d'avoir un maximum de souplesse d'utilisation, et pouvoir au besoin utiliser cette librairie depuis une interface graphique, les commandes *Python* associées pouvant être générées, enregistrées, et rejouées via l'interface, à la même manière qu'une macro *EnSight* ou *Word*.

La génération d'une telle bibliothèque est possible, quelques tests ont été réalisés, et un *Makefile* et un script permettant cette approche ont été réalisés, mais le niveau d'encapsulation réalisé n'était pas suffisant pour pouvoir rempacer du code *C* par du code *Python* (le contenu des structures *C* n'ayant pas été rendu accessible par le code *Python*, ceci demandant un travail un peu plus important). Cette approche aurait permis en théorie un développement plus rapide, mais l'aspect « débog » pourrait être légèrement plus compliqué, et cela aurait introduit une dépendance au langage *Python*, qui semble aujourd'hui porté sur un très grand nombre d'architectures et fortement maintenu, mais ce choix pouvait encore paraître risqué au début du développement de l'Enveloppe en 1999, notamment par rapport au portage sur supercalculateur. Dans l'état actuel de maturité du code, elle n'aurait plus un grand intérêt.

Le Préprocesseur étant aujourd'hui appelée par un script, les fonctionnalités actuelles sont toutes accessibles via des options de ligne de commande d'un exécutable standard. Les sources de la partie application (le sous-programme principal et quelques sous-programmes associés) sont stockées dans un répertoire distinct de la partie librairie, et il serait donc relativement aisé de construire aussi bien un script *Python* qu'un composant CORBA ou autre pour remplacer l'exécutable actuel, si cela s'avérait utile.

Aujourd'hui, le Préprocesseur se présente donc sous la forme d'un exécutable simple, acceptant des arguments de ligne de commande.

### 3.3 Langage de programmation

On a choisi d'écrire le module Enveloppe en langage C ANSI (version 1989). Les raisons de ce choix sont explicitées ci-dessous.

Le langage C constitue un bon compromis entre la puissance et la simplicité : il comprend la notion de structure, et permet une gestion de mémoire dynamique. Cette gestion n'est pas automatique, ce qui n'est nécessairement pas un inconvénient (car on peut ainsi plus facilement optimiser et intervenir sur cette gestion en cas de problèmes sur certains systèmes). De plus, il est très bien adapté aux problèmes de gestion d'entrées et sorties, ayant été conçu à l'origine pour la programmation système. Surtout, le code généré est en général comparable en performances au code généré avec du Fortran 77.

On ne disposait pas au démarrage du projet de l'expérience ou du retour d'expérience suffisant pour spécifier un composant critique du code en langage C++. De plus, la plupart des compilateurs C++ manquaient encore

EDF R&D	<b>Code_Saturne version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur</b>	Code_Saturne documentation Page 16/78
---------	--	---

de maturité en 1998, et ne géraient pas bien tous les aspects de la norme, même si des progrès ont été réalisés depuis. L'approche objet limitée en C constitue une bonne étape intermédiaire, peu risquée et apportant toutefois une certaine expérience de la conception et programmation orientée objet pour des projets ultérieurs.

Le langage C étant le langage par excellence d'UNIX et de nombreux autres systèmes d'exploitation, on ne peut que difficilement imaginer une architecture moderne sans compilateur C fiable et bien maintenu, ou que ce langage tombe en désuétude dans un avenir proche. Beaucoup plus de bibliothèques informatiques présentent une interface C qu'une interface avec tout autre langage, ce qui peut être très important si l'on ne veut pas devoir ré-implémenter des fonctionnalités déjà librement disponibles ailleurs et bien adaptées à nos besoins.

On remarquera que le langage C est souvent considéré par les puristes de langages de plus haut niveau comme « dangereux », notamment par rapport à l'utilisation de pointeurs et au fait que le langage est faiblement typé et que les contrôles y sont limités. En pratique, il n'est certainement pas plus dangereux que le Fortran 77 (un peu plus simple, mais avec un typage tout aussi faible, pas de notion de prototype de fonction, et moins d'outils modernes facilitant sa vérification) ou que le C++ (plus fortement typé, mais beaucoup plus complexe).

Quant aux langages autres que Fortran (77/90/95/2003), C, ou C++, la plupart ne sont pas adaptés aux besoins « haute performance », ou ne sont pas (ou plus) suffisamment répandus pour que leur choix ne soit pas considéré comme risqué en termes de portabilité ou disponibilité de compétences pour la maintenance du programme.

Finalement, le langage C est probablement (avec les langages C++ et Java) un des langages pour lequel on trouve le plus d'outils d'assistance au développement (vérificateurs, documentation automatique, ...).



EDF R&D	<i>Code_Saturne</i> version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur	<i>Code_Saturne</i> documentation Page 17/78
---------	---	--

## Deuxième partie

# Modélisation objet

EDF R&D	<i>Code_Saturne</i> version 1.3.2 : <b>manuel informatique du Préprocesseur</b>	<i>Code_Saturne</i> documentation Page 18/78
---------	--	--

## 4 Définition des concepts clés

Ce chapitre définit les principaux concepts qui sont utilisés par le Préprocesseur et auxquels on fera constamment référence dans la suite du rapport.

Ces définitions n'ont pas une valeur générale et s'appliquent uniquement dans le cadre du module Préprocesseur.

On note que ces notions ne correspondent pas pour la plupart à une classe, mais sont représentées sous forme de *champs*. Parmi les notions décrites ci-dessous, seuls le *maillage*, l'*entité de maillage*, et le *champ* sont actuellement représentés par des classes.

Il est important de bien noter que les notions définies ci-dessous correspondent à une analyse du problème à traiter, et que le choix de représenter telle ou telle entité sous forme de classe ou non ne vient qu'après.

### 4.1 Maillage

On appelle *élément de maillage*, un *sommet*, une *arête*, une *face* ou une *cellule* :

- *élément de maillage* d'ordre 0 : un *sommet* est défini par ses coordonnées ;
- *élément de maillage* d'ordre 1 : une *arête* est définie par ses 2 *sommets* extrémités (elle est donc droite) ;
- *élément de maillage* d'ordre 2 : une *face* est une surface fermée, pleine, définie :
  - soit par au moins 3 *arêtes* (non colinéaires) ;
  - soit par au moins 3 *sommets* (non alignés) ;
- *élément de maillage* d'ordre 3 : une *cellule* est un volume fermé, plein, définie :
  - soit par au moins 4 *faces* (non coplanaires) ;
  - soit par au moins 6 *arêtes* (non coplanaires) ;
  - soit par au moins 4 *sommets* (non coplanaires).

Un *maillage* est un ensemble d'*éléments de maillage*, dont chaque *élément de maillage* :

- est défini en fonction d'*éléments de maillage* d'ordre inférieur ;
- possède ou non une indication de *type géométrique* ;
- possède ou non une *étiquette* ;
- possède ou non des *propriétés*.

#### 4.1.1 Connectivité

La relation permettant de définir des *éléments de maillage* en fonction d'*éléments de maillage* d'ordre inférieur est appelée *connectivité*.

On distingue 2 types de *connectivité* :

- la *connectivité nodale*, dans laquelle tous les *éléments de maillage* (d'ordre supérieur ou égal à 1) sont définis en fonction des *sommets* ;
- la *connectivité descendante*, dans laquelle tous les *éléments de maillage* (d'ordre supérieur ou égal à 1) sont définis en fonction des *éléments de maillage* d'ordre immédiatement inférieur (encore appelés *sous-éléments*).

Le tableau ci-dessous donne pour chaque type d'*élément de maillage*, le type de *sous-élément* qui participe à sa définition dans la *connectivité descendante*.

<i>élément de maillage</i>	<i>sous-élément</i>
<i>cellule</i>	<i>face</i>
<i>face</i>	<i>arête</i>
<i>arête</i>	<i>sommet</i>

## 4.1.2 Type géométrique

On associe en général un *type géométrique* à chaque *élément de maillage* en connectivité nodale. Pour les *sommets* ou les *arêtes* le *type géométrique* se confond avec l'*élément de maillage*, et on peut donc se passer de ce champ. Pour une *face* ou une *cellule*, le *type géométrique* permet de savoir comment passer en connectivité descendante.

On donne dans le tableau ci-dessous la liste des *types géométriques* définis dans le Préprocesseur.

élément de maillage	type géométrique
sommet	sommet
arête	arête
face	triangle quadrangle polygone
cellule	tétraèdre pyramide prisme (ou pentaèdre) hexaèdre polyèdre

Après le passage en connectivité descendante, le *type géométrique* des entités n'est plus utile, et on le supprime. On le reconstruit si l'on repasse d'une connectivité descendante à une connectivité nodale.

## 4.1.3 Étiquette

Une *étiquette*, appelée aussi *label*, est un numéro caractérisant l'*élément de maillage*. Ce numéro doit être unique parmi les *éléments de maillage* de même ordre dans un maillage donné, et est fourni par le mailleur (alors que la numérotation interne utilisée par le Préprocesseur et le Noyau peut être modifiée au besoin).

En cas de concaténation de maillages, ce champ est supprimé, car on aurait probablement plusieurs éléments portant un même label.

## 4.1.4 Propriété

Un *élément de maillage* peut avoir plusieurs *propriétés*, de 2 types différents :

- il peut posséder une ou plusieurs *couleurs*<sup>4</sup> ;
- il peut appartenir à un ou plusieurs *groupes*, définis par un numéro et un nom.

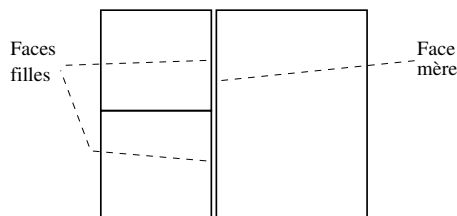
Une *couleur* est représentée par un numéro ; avec tous les mailleurs utilisés jusqu'ici (*I-deas*, *SIMAIL*, *ICEM Hexa*, et *Igg Hexa*), la couleur est un entier positif (ou construite à partir d'un entier positif indiquant un groupe ou une surface CAO pour *ICEM Hexa* et *Igg Hexa*, qui ne possèdent pas directement la notion de couleur). Par convention, une couleur de valeur zéro est considérée dans le Préprocesseur comme équivalente à aucune couleur (ce qui est proche de l'interprétation des couleurs, ou *références* sous *SIMAIL*). Un *groupe* est représenté par un nom (et éventuellement un numéro).

## 4.1.5 Filiation

Une *filiation* indique une relation de type « découpage » entre l'*élément de maillage* portant un attribut *filiation* et un *élément de maillage* du même type d'*entité de maillage* (mais pas forcément du même *maillage*).

<sup>4</sup>Les mailleurs ne donnent en général la possibilité d'attribuer qu'une seule *couleur* à un *élément*. Le Préprocesseur intègre une notion plus large de la *couleur*, afin notamment de ne pas perdre d'information sur la *couleur* des éléments en cas de recollement de maillages dont les bords en vis-à-vis sont de *couleurs* différentes.

On a une relation de type *filiation* lorsqu'on lit un maillage hiérarchique, comme dans le cas de maillages au format *Igg Hexa*. Dans ce dernier cas, la relation est interne à une *entité de maillage*. À l'issue du passage en connectivité descendante, on découpe les éléments de type *arête* et *face* référencés par une *filiation* et on fusionne les éléments issus du découpage avec ceux qui portent l'attribut *filiation*. La *filiation* disparaît alors, tous les éléments référencés à l'origine par cette relation ayant été découpés et fusionnés.



**Figure 4.1:** Filiation pour maillage *Igg Hexa*

Au cours d'opérations de type découpage d'entités ou agglomération, la topologie du maillage est modifiée. Si l'on avait besoin de pouvoir inverser une opération<sup>5</sup>, on pourrait sauvegarder les *éléments de maillage* modifiés dans une *entité de maillage* appropriée, puis utiliser une relation de type *filiation* pour pouvoir inverser l'opération. Une autre approche consisterait à considérer les *éléments de maillage* référencés par une *filiation* comme « non finaux » et inactifs, mais aurait des implications plus lourdes sur le modèle de données.

En cas d'opérations successives que l'on voudrait pouvoir inverser, on peut imaginer une chaîne d'*entités de maillage* de sauvegarde dont les *éléments de maillage* porteraient une *filiation* référençant l'*entité de maillage* de sauvegarde précédente.

## 4.2 Entité de maillage

On appelle *entité de maillage*, un ensemble d'*éléments de maillage* de même ordre.

Par définition, il y a 4 *entités de maillage* principales, contenant chacune tous les *éléments de maillage* de même ordre d'un maillage :

- l'*entité de maillage des sommets* ;
- l'*entité de maillage des arêtes* ;
- l'*entité de maillage des faces* ;
- l'*entité de maillage des cellules*.

Un numéro d'*étiquette* doit être unique par *entité de maillage* : par exemple, il ne doit y avoir qu'un seul *sommet* ayant pour *étiquette* le numéro *n*.

## 4.3 Champ

Un *champ* associe à chaque *élément de maillage* d'une même *entité de maillage*, soit une valeur qui caractérise cet *élément* dans la définition du *maillage*, soit une valeur (de nature et utilité quelconque) attachée à cet *élément*.

Il s'agit en fait d'une des notions les plus importantes du Préprocesseur, car presque toutes les données sont représentées en fin de compte sous forme de *champs*.

Les différents types de *champ* sont les suivants :

- la définition des *éléments de maillage* en terme de *connectivité* ;

<sup>5</sup>par exemple pour le cas d'un maillage glissant, où l'on devrait inverser le recollement, déplacer des mailles, puis reconstruire le recollement

EDF R&D	<b>Code_Saturne version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur</b>	Code_Saturne documentation Page 22/78
---------	--	---

- le *type géométrique* ;
- les *étiquettes* ;
- les *couleurs* et les *groupes* ;

Par exemple, le *champ type géométrique* associe pour chaque *face* de l'*entité de maillage des faces*, la valeur du *type géométrique* pour cette *face* (triangle, quadrangle ou polygone).

## 4.4 Famille

Une *famille* est une classe d'équivalence : deux *éléments* dont toutes les *propriétés* (*couleurs*, appartenances à un *groupe*) sont les mêmes, appartiennent à la même *famille*, alors que dès qu'une *propriété* est différente, les *éléments* appartiennent à une *famille* différente [4].

Une *famille* est identifiée par un numéro et est décrite par les *propriétés* qui la définissent (*couleurs*, appartenances à un *groupe*). Chaque *élément* a un numéro de *famille* associé.

La notion de *famille* est bien adaptée à un stockage compact des diverses propriétés des éléments, mais pas à certaines opérations. Ainsi, si l'utilisation de familles peut être pratique pour une opération de type extraction ou découpage (où il suffit que les éléments issus de l'opération héritent d'un simple numéro de famille pour connaître leurs propriétés), cette utilisation s'avère beaucoup plus problématique pour des opérations de type fusion, où des éléments héritent des propriétés de leurs deux parents, et les classes d'équivalence sont donc à reconstruire.

On notera que le modèle *MED* définit les propriétés via des *familles*, en construisant un groupe de familles sur les propriétés des nœuds (l'équivalent des *sommets* dans le Préprocesseur), et un autre groupe sur les propriétés de l'ensemble des autres *entités de maillage*. Ce découpage semble naturel pour des codes aux éléments finis, mais semblerait arbitraire si on l'appliquait au Préprocesseur, qui sépare clairement les éléments d'ordre différent.

De la même façon, si l'on veut fournir des propriétés au noyau sous forme de *familles*, il semble préférable de construire les *familles* sur l'ensemble des entités, afin de réduire le risque de confusion entre les descriptions de *familles* sur les *sommets* et sur les autres entités.

On choisit donc de représenter dans le Préprocesseur les propriétés des divers éléments sous forme de *champs* de *couleurs* et de *groupes*, et de n'utiliser les *familles* que de manière transitoire, en fonction d'une logique locale.

Ainsi, les *familles* lues ou écrites dans des fichiers au format *MED* respectent la logique du modèle associé (i.e. un ensemble de familles de numéros négatifs sur les *sommets*, et un autre ensemble de numéros positifs incluant les *arêtes*, les *faces*, et les *cellules*), alors que les *familles* fournies au noyau regroupent les *attributs* de toutes les *entités de maillage*, et les classes d'équivalence obtenues sont donc différentes.

## 5 Classes

La construction d'un logiciel, dans une conception structurée, consiste à identifier les fonctions que le programme doit réaliser, et à partitionner, de façon réursive, ces fonctions en sous-fonctions. L'architecture logicielle est alors le reflet de la hiérarchie des fonctions.

Les fonctions sont fortement liées puisqu'elles partagent des données et aucune méthode ne permet d'associer des fonctions à des données. Une modification des données peut impliquer des modifications structurelles importantes dans tout le programme.

L'approche objet consiste à regrouper les fonctions suivant les données qu'elles utilisent ou modifient. L'unité d'agrégation permettant de combiner les fonctions et les données est la *classe*.

Le Préprocesseur est essentiellement un code de structure de données, par conséquent bien adapté à une modélisation objet. Elle manipule les concepts définis dans le chapitre précédent, comme les *maillages*, *entités de maillage*, *champs*, etc., qui trouvent une modélisation évidente en termes de *classes*.

Ce chapitre répertorie les *classes* pertinentes pour appréhender le système Préprocesseur et décrit les relations entre *classes* sous forme de diagrammes de *classes*.

Le langage *UML* (Unified Modeling Language) est utilisé pour décrire les *classes* et leurs relations. Il permet de donner un contenu sémantique précis aux notations graphiques utilisées sur les schémas. Il n'est cependant pas nécessaire de connaître ce langage de modélisation pour lire ce chapitre : on pourra se contenter du texte qui accompagne les schémas.

### 5.1 Maillage

La classe *Maillage* est une *classe* principale : elle est la *classe* de plus haut niveau manipulée par le Préprocesseur.

#### 5.1.1 Relations de la classe *Maillage*

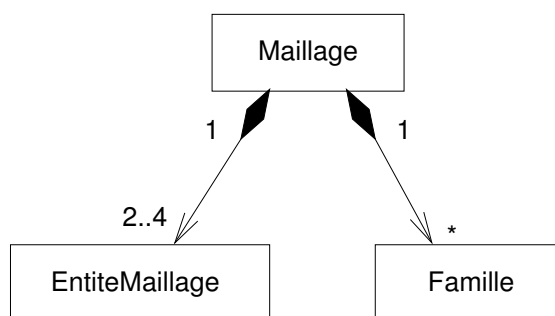
Un *maillage* comporte au plus 4 *entités de maillage* :

- *entité de maillage des sommets* ;
- *entité de maillage des arêtes* ;
- *entité de maillage des faces* ;
- *entité de maillage des cellules*.

Si le *maillage* est surfacique en connectivité nodale, le *maillage* pourra n'être défini qu'avec les 2 *entités de maillage* : l'*entité de maillage des sommets* et l'*entité de maillage des faces*.

Chacune de ces 4 *entités de maillage* est généralisée par une classe *EntitéMaillage*. La classe *Maillage* sera alors une *composition* d'au moins 2 classes *EntitéMaillage* et d'au plus 4 classes *EntitéMaillage*.

La définition des *propriétés* du *maillage* en termes de *familles* est facultative et transitoire : les *propriétés* sont généralement définies avec les *champs propriété*. La classe *Maillage* peut donc ne pas contenir de *classe Famille*.



**Figure 5.1:** Relations de la classe

### 5.1.2 Attributs et méthodes de la classe Maillage

La *classe* **Maillage** contient pour *attribut* la dimension spatiale. C'est un *attribut de classe* : on ne saurait manipuler (concaténer, recoller, etc.) 2 *maillages* de dimensions différentes. En revanche, on peut, par exemple, recoller un *maillage* surfacique (en dimension 3) à un *maillage* volumique.

Le Préprocesseur, dans son état actuel, ne manipule que les *maillages* 3D. Prendre en compte les *maillages* 2D ne nécessiterait que des développements minimes.

Après avoir lu et transformé un *maillage* dans la représentation interne au Préprocesseur, les *labels* qui interviennent dans la définition des *éléments de maillage*, devront être transformés en indices (les *labels* peuvent ne peuvent pas commencer à 1 et n'ont aucune raison de suivre une progression de 1 en 1) afin de compacter les listes. Une *méthode* de la *classe* est dédiée à cette fonctionnalité : `transformeLabelEnIndice()`.

L'outil de post-traitement *EnSight* impose de donner les *connectivités* des *éléments* par *type géométrique* : la *méthode* `trieTypeGéométrique()` réalise cette tâche.

La plupart des opérations sur un *maillage* sont effectuées dans la représentation en *connectivité descendante* du *maillage*. La transformation d'un *maillage* de la *connectivité nodale* à la *connectivité descendante* est réalisée par la *méthode* `creeConnectivitéDescendante()`.

Si plusieurs *maillages* doivent être traités, ils doivent être concaténés deux à deux (i.e. les entités du second sont ajoutées au premier, ce qui implique un changement de numérotation, sans changer leurs connectivités) et doivent pouvoir être ensuite recollés : les 2 *méthodes* respectives `concatène()` et `recolle()` implémentent ces opérations.

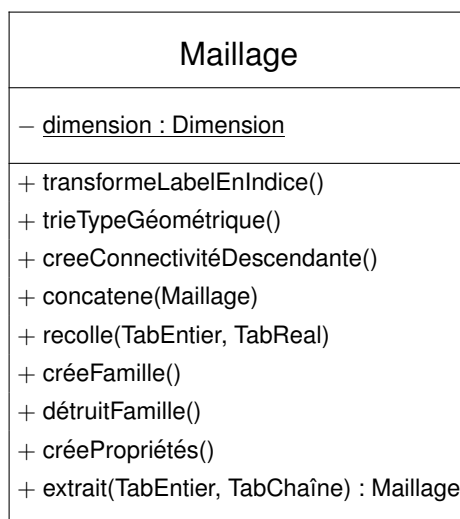
Les données spécifiques au Noyau, barycentres des *cellules*, centres de gravité des *faces* et normales aux *faces* (non normées), sont calculées par les *méthodes* respectives, `calculeBarycentreCel()`, `calculeCdGFac()` et `calculeNormaleFac()`.

Plusieurs *méthodes* sont dédiées aux *familles* :

- création des *familles* à partir des *champs attribut* : `créeFamille()` ;
- transformation des *familles* en *champs attribut* : `créePropriétés()` (et `détruitFamille()`).

La dernière méthode (`extraire()`) concerne la visualisation pour vérification de faces du *maillage*.



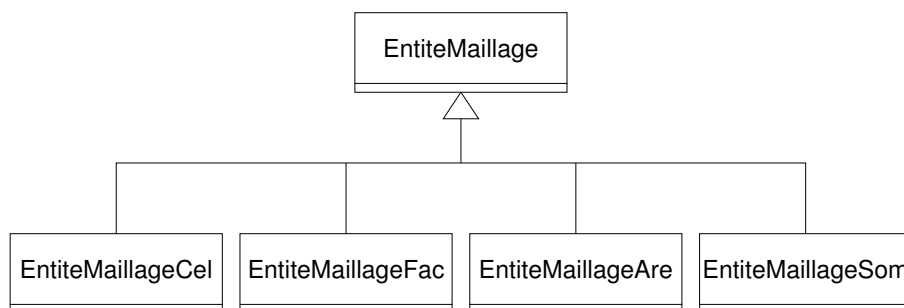


**Figure 5.2:** Description de la classe Maillage

## 5.2 EntitéMaillage

### 5.2.1 Généralisation des entités de maillage

On généralise les 4 *entités de maillage* par la *classe* EntitéMaillage.



**Figure 5.3:** Généralisation des *entités de maillage*

### 5.2.2 Relations de la classe EntitéMaillage

Les *entités de maillage* sont liées entre elles par le type de *connectivité* qui sert à définir le *maillage* : par exemple, en *connectivité nodale*, chaque *face* de l'*entité de maillage des faces* est définie par des *sommets* de l'*entité de maillage des sommets*.

Une *entité de maillage* regroupe en son sein un certain nombre de *champs* :

- les 2 *champs principaux* ;
- un nombre quelconque de *champs auxiliaires*.

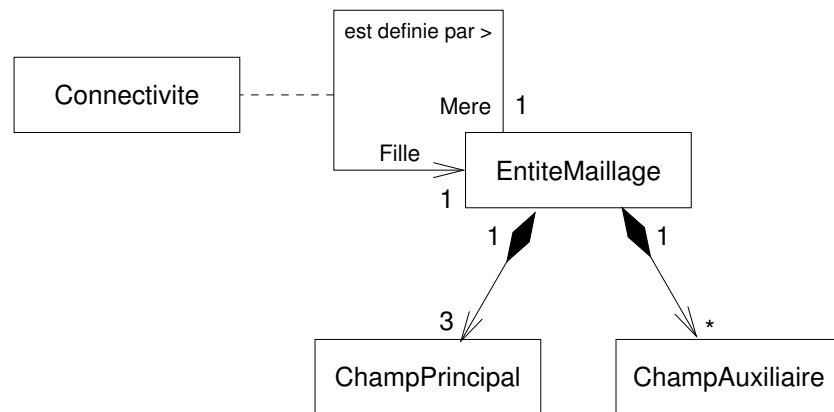


Figure 5.4: Relations de la classe EntitéMaillage

## 5.3 Connectivité

### 5.3.1 Généralisation des connectivités

Une *connectivité* étant la relation permettant de définir des *éléments de maillage* en fonction d'*éléments de maillage* d'ordre inférieur, on dénombre 6 *connectivités* possibles :

- la *connectivité* « cellule → face » ;
- la *connectivité* « cellule → arête » ;
- la *connectivité* « cellule → sommet » ;
- la *connectivité* « face → arête » (non utilisée) ;
- la *connectivité* « face → sommet » ;
- la *connectivité* « arête → sommet » .

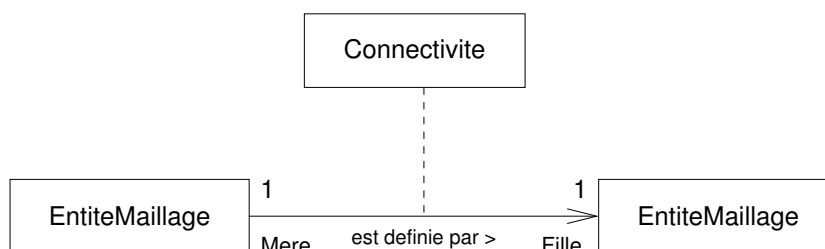
Chacune de ces 6 *connectivités* peut être vue comme une spécialisation d'une *classe* Connectivité.

### 5.3.2 Relations de la classe Connectivité

La *classe* Connectivité est une *classe* définie par l'association de 2 *classes* EntitéMaillage : une *classe* EntitéMaillage est définie par une autre *classe* EntitéMaillage, la première joue le rôle de « mère » dans la relation « est définie par », la deuxième jouant le rôle de « fille ».

Par exemple, en *connectivité nodale*, chaque *face* de l'entité de maillage des faces est définie par des *sommets* de l'entité de maillage des sommets, donc la *classe* « mère » EntitéMaillageFac « est définie par » la *classe* « fille » EntitéMaillageSom.

La *classe* Connectivité contient un *attribut*, spécifiant la nature de la *connectivité* : la *connectivité* est décrite en termes de *labels* d'*éléments* ou en termes d'indices d'*éléments*. On utilise des indices pour la représentation interne, mais *I-deas* peut utiliser des labels, et l'on devra donc pouvoir raisonner en termes de labels au moins pour la phase de lecture d'un maillage.



**Figure 5.5:** Relations de la classe Connectivité

## 5.4 Famille

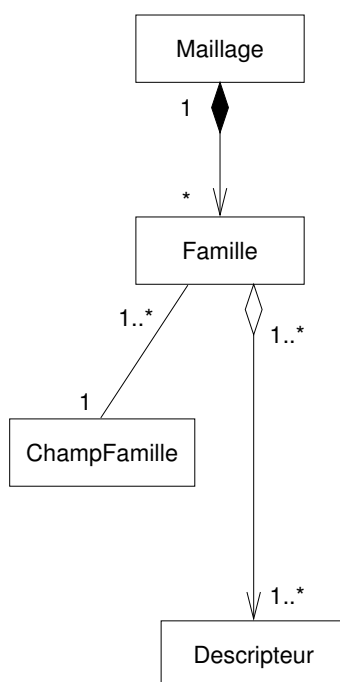
Une *famille* est une collection de *descripteurs*, chacun d'entre eux contenant une description de la *propriété* qui participe à la définition de la *famille*.

Un même *descripteur* peut appartenir à plusieurs *familles* ; une *famille* existe si elle a au moins un *descripteur*.

Si les *familles* existent, le *champ famille* contient pour chaque *élément de maillage* son numéro de *famille* (il existe au plus un *champ famille*).

Les *familles* sont donc ordonnées de façon à correspondre aux numéros de *familles* contenus dans le *champ famille*.

S'il existe une *famille*, c'est qu'il existe au moins un *élément de maillage* qui porte le numéro de cette *famille*.  
Si le *champ famille* existe, c'est qu'il existe au moins une *famille*.



**Figure 5.6:** Relations de la classe *famille*

## 5.5 Champ

La *classe Champ* est une *classe* centrale dans la modélisation du Préprocesseur. Elle regroupe les divers *champs* participant à la définition du *maillage*.

La figure 5.7 donne une classification des *champs* et mentionne les *attributs* de la *classe* Champ.

### 5.5.1 Classification des *champs*

Un *champ* peut être un *champ principal* ou un *champ auxiliaire*.

Les *champs principaux* sont au nombre de 2 :

- le *champ définition*, qui contient la définition des *éléments de maillage* en fonction d'*éléments de maillage* d'ordre inférieur ; il est aussi utilisé pour donner le nombre d'*éléments* liés à une *entité de maillage* ;
- le *champ type géométrique*, qui contient le *type géométrique* des *éléments de maillage*.

Un *champ auxiliaire* est toujours un *champ attribut*.

Parmi les *champs attribut*, on distingue :

- le *champ famille*, qui contient les numéros de *famille* des *éléments* ;
- les *champs propriété* ;
- le *champ étiquette*, qui contient les *étiquettes* (ou *labels*) des *éléments* ;
- le *champ filiation*, qui contient pour chaque *élément*, la référence à un *élément père* dans une transformation.

Les *champs propriété* sont au nombre de 2 : le *champ couleur* et le *champ groupe*, contenant pour chaque *élément*, respectivement, le numéro du *descripteur* de la *couleur* et le numéro du *descripteur* du *groupe*.

### 5.5.2 Attributs de la classe Champ

Un *champ* est identifié par un nom. On lui attribue un nombre d'*éléments* et un *type*.

Les *champs* se comportent différemment en cas de modification du *maillage*. Une modification du *maillage* transforme un *élément de maillage* « père » avant modification en un ou plusieurs *éléments* « fils ».

L'*attribut statut* contient le type de comportement :

- *statutIndéfini* ;
- *statutReferenceÉlément* : les valeurs du champ correspondent à des numéros d'*éléments* (par exemple pour la description de la périodicité).
- *statutHéritable* : un *élément* « fils » aura la valeur du champ de l'*élément* « père » ;

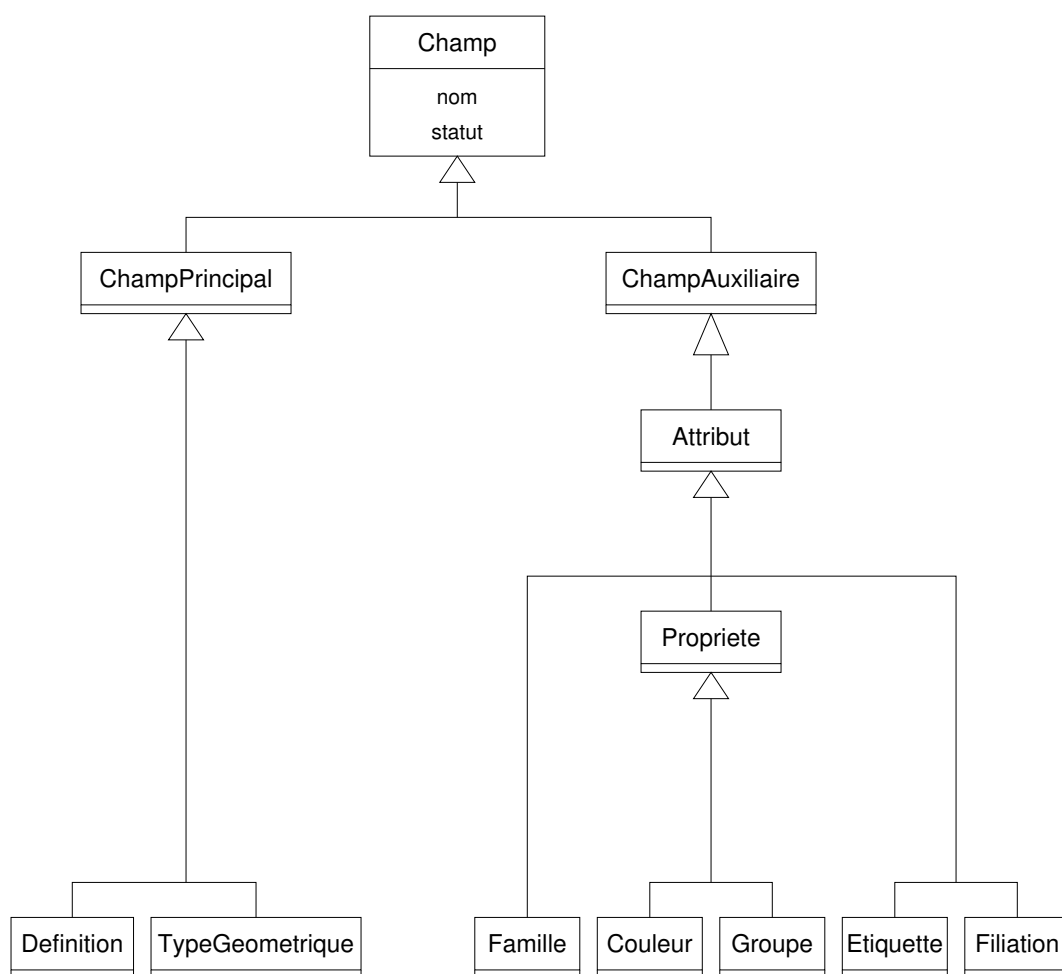
### 5.5.3 Relations de la classe Champ

Un *champ* est composé de 2 tables, la *table des positions* et la *table des valeurs*, qui servent à stocker les valeurs du champ. À des fins d'économie de mémoire, la *table des positions* peut être définie par une *table réglée* dans le cas d'un *champ* entier.

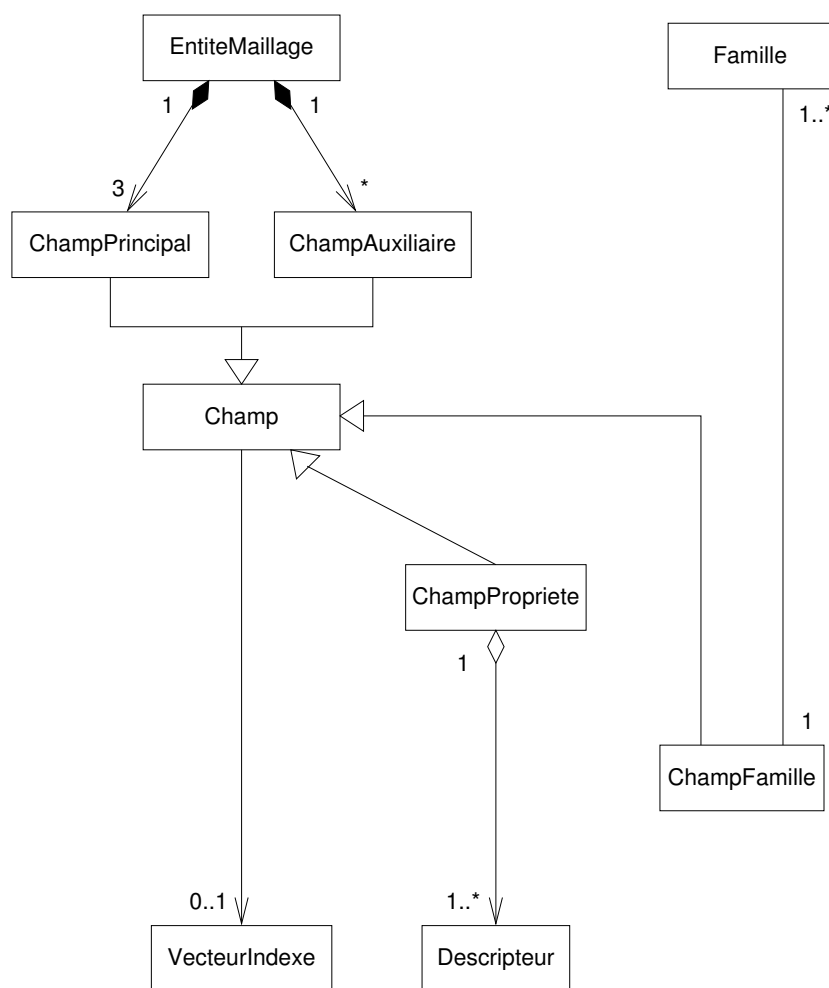
Pour faciliter l'utilisation des valeurs d'un *champ* dans les algorithmes, un *vecteur indexé* est une structure réimplémentant les *tables des positions et valeurs*. Un *vecteur indexé* est donc bien associé à un *champ*, mais a une existence propre (sa *classe* n'est pas une composante de la *classe* Champ).

Les *champs propriété* contiennent les numéros des *descripteurs*, chaque *descripteur* contenant la description de la *propriété* (*couleur* ou *groupe*). Un même *descripteur* ne peut appartenir qu'à un *champ propriété* (on ne mélange pas les *couleurs* et les *groupes* dans un même champ) ; un *champ propriété* existe s'il a au moins un *descripteur*.

De même, le *champ famille* contient les numéros des *familles*, chaque *famille* étant une collection de *descripteurs*. Le *champ famille* existe s'il existe au moins une *famille* ; inversement, s'il existe au moins une *famille*, le *champ famille* existe.



**Figure 5.7:** Classification des *champs*

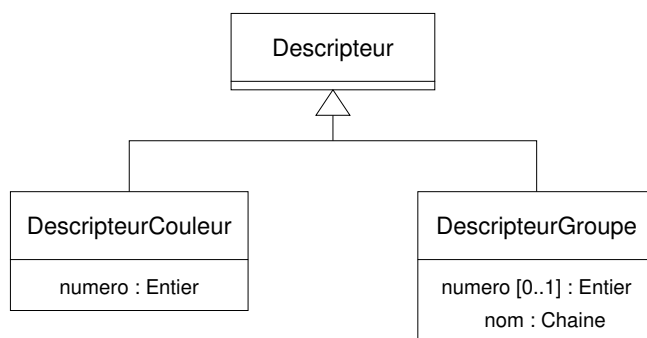


**Figure 5.8:** Relations de la classe Champ

## 5.6 Descripteur

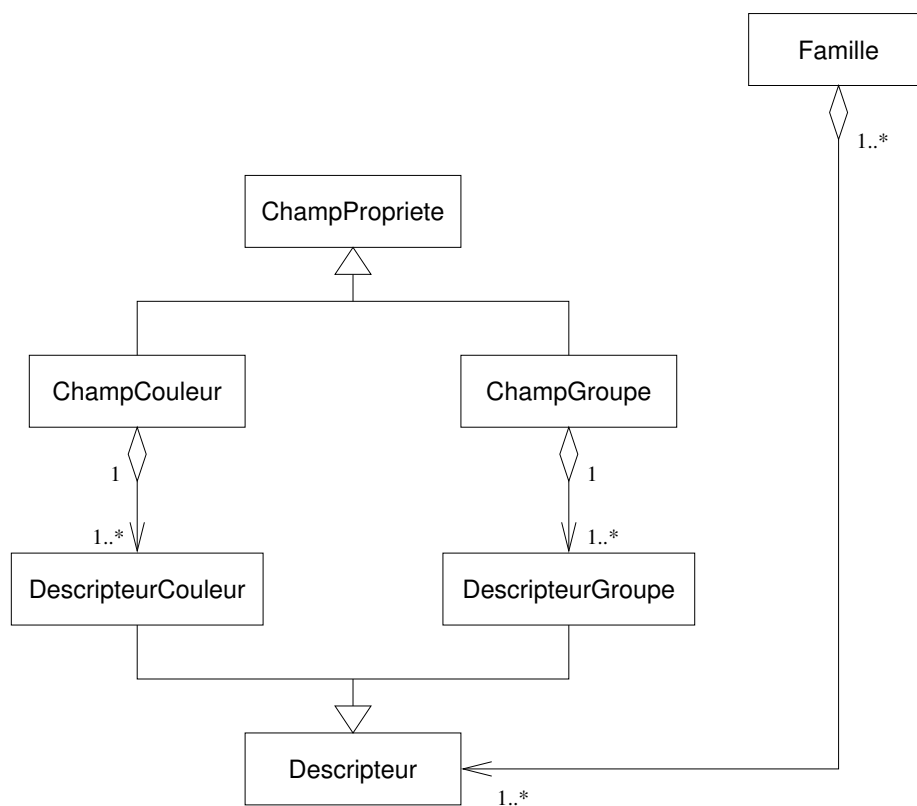
Un *descripteur* décrit :

- soit une *propriété couleur*, représentée par un numéro ;
- soit une *propriété groupe*, représentée par un nom de *groupe* et éventuellement un numéro.



**Figure 5.9:** Classification des *descripteurs*

La *classe* **Descripteur** intervient pour décrire les *familles* et pour décrire les *champs propriété*, comme on l'a vu précédemment.



**Figure 5.10:** Relations de la classe **Descripteur**





## 6 Implémentation et configuration logicielle en langage C

Au premier abord, il peut sembler paradoxal d'implémenter une approche objet avec un langage « non objet », comme le C.

En fait, grâce aux macro-instructions et pointeurs de fonctions du C, il est possible d'implémenter la plupart des notions objets (y compris des notions comme l'héritage, la généricité, etc.).

Mais à vouloir coller de trop près à une programmation « objet », le codage devient vite lourd à mettre en œuvre. En s'écartant ainsi de la programmation en C traditionnelle, on risque de compromettre la lisibilité et la maintenabilité du programme.

Du coup, le choix du langage C par rapport au langage objet C++, peut paraître surprenant. Cependant, le C dispose encore de plusieurs avantages sur le C++ : son interfaces binaire est mieux standardisée (i.e. des fichiers objets ou bibliothèques compilés sur une même architecture avec des compilateurs différents peuvent être liés), et surtout, il est nettement plus simple, ce qui fait à la fois que les compilateurs C sont souvent plus fiables que certains compilateurs C++. Surtout, son apprentissage est plus rapide et aisé.

Ce qui importe le plus pour nous, c'est la possibilité de regrouper des données dans une même structure. Le langage C possédant la notion de structures (à la différence du Fortran 77), l'encapsulation de données ne pose pas de problèmes. Nous ne cherchons pas à utiliser des relations d'héritage, et utilisons plutôt des attributs pour indiquer quel comportement une méthode doit adopter pour une structure donnée.

Dans le Préprocesseur, on a donc choisi, en toute connaissance de cause, de rester dans le cadre d'une programmation classique en C, et d'implémenter uniquement les notions fondamentales d'une approche objet qui sont utiles ici.

Cette programmation « orientée objet » en C, exige de la part du développeur une rigueur accrue : les compilateurs C ne prennent pas en charge les contrôles de cohérence lors de la mise en place des concepts objets. C'est d'ailleurs ce point qui distingue un langage objet d'un langage non objet comme le C.

Ce chapitre expose l'architecture logicielle du Préprocesseur, construite à partir de la modélisation objet du chapitre précédent. Il insiste aussi sur la manière dont les concepts objets sont pris en compte dans le Préprocesseur, afin que tout développement à venir respecte la structure objet du Préprocesseur.

### 6.1 Implémentation en C

#### 6.1.1 Approche objet

**Modularité** La complexité d'un logiciel peut être réduite en partitionnant le programme en parties relativement indépendantes (appelées *modules*), qui peuvent être appréhendées seules, avec quelques références aux autres parties du programme.

Un *module* exporte vis-à-vis de l'extérieur des informations qui sont contenues dans son interface.

**Encapsulation et masquage de l'information** À ce niveau de discussion, l'*encapsulation* et le *masquage de l'information* peuvent se définir comme un seul principe :

un *module* doit rendre inaccessible de l'extérieur les données qu'il manipule et ne peut rendre visibles aux autres *modules* qu'un ensemble de services contenus dans son interface.

Par conséquent, une information gérée par un *module* ne sera jamais modifiable par les autres *modules*, mais pourra être consultable si l'interface du *module* déclare une fonction qui exporte cette information.

L'avantage de la mise en application de ce principe est de dissimuler aux autres *modules* la représentation des données manipulées par un *module*, et donc de forcer un *module* à utiliser une méthode (ou un sous-programme) bien identifiée pour pouvoir accéder aux données d'un autre *module*. Une modification de la représentation des données d'un *module* ne devrait avoir que de faibles conséquences sur les autres *modules*.

EDF R&D	<b>Code_Saturne version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur</b>	Code_Saturne documentation Page 34/78
---------	--	---

**Classification** L'approche objet est basée sur le regroupement des données et des traitements. Les données et les fonctions qui utilisent ou modifient ces données, sont regroupées dans des unités appelées *classes*.

Les données sont alors représentées par les *attributs* de la *classe*, et les fonctions sont les *méthodes* de la *classe*.

Une *classe* est associée à un *module*, et le principe de *masquage de l'information* appliqué à une *classe*, consiste à rendre les *attributs* inaccessibles à l'extérieur de la *classe* et seules les *méthodes* de la *classe* sont autorisées à manipuler explicitement les *attributs*. L'implémentation des *méthodes* reste cachée et seules les déclarations des *méthodes* sont connues à l'extérieur de la *classe*.

## 6.1.2 Approche objet en C

**Module** Le langage C (comme le C++) impose d'identifier la notion de *module* à celle de fichier, celui-ci étant l'unité de compilation du langage.

Une interface est implémentée en C sous la forme de fichier à inclure (fichier avec l'extension « .h »).

Les relations d'inclusion en C (`#include`) sont transitives : il est donc possible d'importer par transitivité une interface de *module* qui n'est pas utile.

Le corps du *module* sera un fichier source (fichier avec l'extension « .c ») n'exportant rien.

**Classe** Une *classe* définie lors de la conception est transformée en structure C (`struct`).

Chaque *attribut* défini dans la *classe* devient un membre de la structure.

Une référence sur un objet instance d'une *classe* peut être représentée par un pointeur sur une variable de type la structure correspondante à la *classe*.

Une *méthode* de *classe* possède un argument implicite : l'objet sur lequel s'applique la *méthode* (`this` en C++). Dans un langage non objet comme le C, cet argument doit être rendu explicite.

Les *méthodes* relatives à une *classe* peuvent être transformées en C sous la forme de pointeurs de fonction, membres de la structure correspondante à la *classe*. On retrouve de cette façon la notation pointée du C++ : `objet.méthode()`.

La création de pointeurs de fonction pour implémenter les *méthodes* de *classe* peut s'avérer lourde à mettre en place et leur emploi systématique lourd à utiliser.

Une autre solution consiste à utiliser une convention de nommage pour les fonctions : par exemple, en préfixant le nom des fonctions liées à une structure par le nom de la structure.

**Encapsulation et masquage de l'information** Le langage C offre la possibilité de déclarer un nouveau type structure, sans en donner sa définition.

Dans un fichier, une instruction du type

```
struct _structure ;
```

est valide en C, même si le type `_structure` n'est pas défini dans ce fichier.

Dans tous les fichiers où ce type est déclaré mais dont la définition reste inconnue, il ne sera possible que d'utiliser des pointeurs sur des variables ayant ce type.

Cela n'est en rien gênant : on utilisera toujours un pointeur sur une variable de type structure, même dans les fonctions qui extraient simplement de l'information d'une structure, sans la modifier. D'ailleurs, en C, il est toujours plus efficace de passer en argument un pointeur sur une structure plutôt que la structure elle-même.

Bien entendu, dans les fichiers qui contiennent les fonctions créant ou modifiant une variable de ce type, il faudra nécessairement que ce type soit défini.

Le *masquage de l'information* peut donc être assuré en C : dans un fichier qui contient les implémentations des *méthodes* de la *classe*, on inclura la définition de la nouvelle structure implémentant la *classe* ; inversement, la définition de la nouvelle structure ne sera incluse que dans les fichiers contenant les implémentations des *méthodes*.

Dans le fichier à inclure jouant le rôle d'interface et contenant les déclarations des *méthodes*, ne figurera que la déclaration de la nouvelle structure.

### 6.1.3 Implémentation de l'approche objet dans le Préprocesseur

**Masquage de l'information** L'implémentation d'une classe et du principe de *masquage de l'information*, suit une méthode identique pour toutes les classes répertoriées au chapitre 5.

Par conséquent, on décrit ci-dessous la méthode d'implémentation pour une classe de nom générique *Classe*. À cette classe, correspond la structure C : `ecs_classe_t`.

1. On déclare la structure `ecs_classe_t` dans un fichier « .h » dit public (`ecs_classe_t` est en fait défini sous la forme d'un alias sur la structure proprement dite (`_ecs_classe_t`) grâce à l'instruction `typedef`, de manière à s'affranchir du mot clé `struct`). On a dans `ecs_classe_publ.h` :

```
#ifndef _ECS_CLASSE_PUBL_H_
#define _ECS_CLASSE_PUBL_H_
/*
 * Declaration de la structure
 */
typedef struct _ecs_classe_t ecs_classe_t ;

#endif /* _ECS_CLASSE_PUBL_H_ */
```

2. On définit la structure `ecs_classe_t` dans un fichier « .h » dit privé (`ecs_classe_priv.h`) :

```
#ifndef _ECS_CLASSE_PRIV_H_
#define _ECS_CLASSE_PRIV_H_
#include "ecs_classe_publ.h"
/*
 * Definition de la structure
 */
struct _ecs_classe_t {
    type_membre1 membre1 ;
    type_membre2 membre2 ;
    /* etc. */
} ;
#endif /* _ECS_CLASSE_PRIV_H_ */
```

3. Tout fichier incluant `ecs_classe_priv.h` aura accès aux membres de la structure `ecs_classe_t` : ce fichier doit donc être forcément un fichier « .c » implémentant les *méthodes* de la classe **Classe**.
4. Tout fichier incluant `ecs_classe_publ.h` pourra utiliser un pointeur sur une variable de type `ecs_classe_t`.
5. Une structure ou classe simple ne comportant pas d'élément privé sera définie dans un fichier « .h » global (`ecs_classe_glob.h`).

**Relations entre classes** On donne ici un bref aperçu sur la manière dont sont implémentées les relations entre *classes*. Dans la section 6.3 on explicitera pour chaque *classe*, les implémentations des relations de la *classe*.

#### Relation de composition

Exemple : relations entre la *classe* **Maillage** et les *classes* **EntitéMaillage** et **Famille**.  
C'est le type de relation le plus fréquemment utilisé entre les *classes* du Préprocesseur.

Implémentation : la *classe* composite référence explicitement la *classe* composante (la structure composite référence explicitement le pointeur sur la structure composante).

#### Relation d'agrégation

Les seules relations d'*agrégation* sont les relations qui mettent en jeu la *classe* Descripteur.

Elles seront implémentées sous forme de relations de *composition* comme on l'indique dans la section 6.3.7.

#### Relation d'association

Deux relations d'*association* ont été mentionnées dans les diagrammes de relations de *classes* :

- la relation entre la *classe* Famille et la *classe* ChampFamille ;
- la relation entre la *classe* Champ et la *classe* VecteurIndexé.

Ces relations d'*association* lient faiblement les *classes* concernées et ne sont pas implémentées.

La contrepartie de ce choix impose de s'assurer que les *classes* associées n'existent que si la *classe* ayant la multiplicité 1 existe.

#### Classe-association

La *classe* Connectivité est définie comme une *classe-association* (cf. Figure 5.5, page 27).

L'implémentation de la *classe* Connectivité est expliquée à la section 6.3.4.

#### Relation de généralisation

L'*héritage* ne sera pas implémenté en tant que tel dans le Préprocesseur, pour les raisons déjà évoquées dans l'introduction du chapitre.

On précisera, pour chaque structure C comment les relations de *généralisation* entre super-*classe* et sous-*classes* ont été résolues.

La méthode consistera :

- soit à supprimer un niveau de *généralisation*,
- soit à remonter les *attributs* des sous-*classes* dans la super-*classe* ;  
(Dans ce cas, si l'*attribut* ne concerne pas une *classe* concrète, il lui sera affecté une valeur par défaut. Par exemple pour les pointeurs, les *attributs* non utilisés dans une structure C se verront affecter un pointeur NULL.)
- soit à créer un nouvel *attribut* permettant de différencier les sous-*classes*.

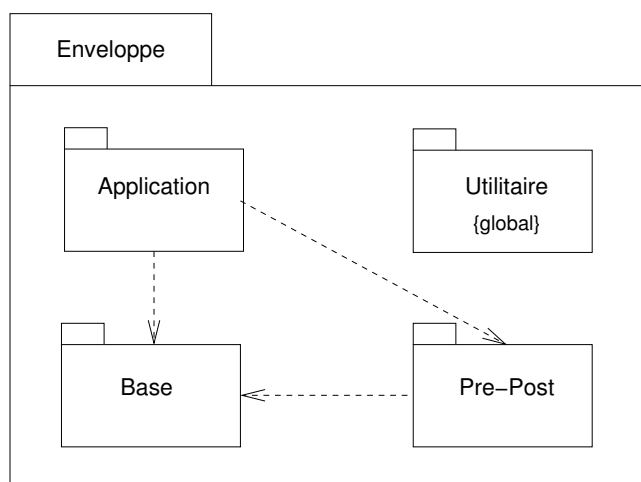
## 6.2 Configuration logicielle

### 6.2.1 Organisation du Préprocesseur en sous-systèmes

Le système Préprocesseur est organisé en quatre sous-systèmes :

- **Application** : contient essentiellement le point d'entrée de l'application (programme principal `main()`) ;
- **Base** : contient l'ensemble des fichiers servant à modéliser la représentation interne des données du Préprocesseur ;
- **Pré-Post** : contient l'ensemble des fichiers servant, soit à convertir la représentation interne des données du Préprocesseur dans un format de sortie, soit, inversement, à convertir un format de données d'entrée dans la représentation interne des données du Préprocesseur ;
- **Utilitaire** : contient l'ensemble des fichiers implémentant les fonctions utilitaires de bas-niveau.

Dans le schéma ci-dessous, un sous-système est représenté sous forme de *paquetage UML*.



**Figure 6.1:** Organisation du Préprocesseur en sous-systèmes

Les relations de dépendance entre sous-systèmes sont des relations stéréotypées « importe ».

Les sous-systèmes ont des relations de visibilité, dans le sens où un fichier du sous-système qui importe un autre sous-système a la possibilité d'inclure des fichiers de déclaration du sous-système importé.

Le cas du *paquetage* Utilitaire est particulier, sa valeur marquée {global} indique qu'il est visible de tous les autres sous-systèmes.

## 6.2.2 Visibilité des classes

Afin d'affiner l'architecture logicielle du Préprocesseur, chacun des deux sous-systèmes Base et Pré-Post est organisé de façon à ce qu'une structure n'ait qu'une visibilité restreinte sur les autres structures.

A chaque structure on associe un *paquetage* contenant les fichiers qui déclarent et définissent les structures, ainsi que les fichiers qui implémentent les *méthodes*.

Le sous-système Base se décompose de la manière indiquée sur la Figure 6.2, page 38. Les *paquetages* sont nommés de manière à rappeler qu'ils contiennent les fichiers implémentant les *classes* définies au chapitre 5.

Les dépendances entre *paquetages* sont matérialisées par des relations de dépendance **non transitives** (stéréotypées par défaut avec le stéréotype prédéfini par UML, « accède »).

Certaines sont explicitement stéréotypées « association ». La signification de ce stéréotype non prédéfini est donné plus loin.

Chaque *paquetage* englobant les fichiers liés à une structure n'a la connaissance que des interfaces des *paquetages* auxquels il accède : par exemple, un fichier du *paquetage* EntitéMaillage ne pourra inclure que les fichiers déclarés visibles des *paquetages* Famille et Champ.

Le *paquetage* Maillage est quant à lui directement relié au sous-système Application, par l'intermédiaire du programme principal (cf. Figure 6.1, page 37).



**Figure 6.2:** Relations de dépendances entre structures

**Règles de visibilité intra-paquetage**

Un *paquetage* lié à une structure de nom générique `ecs_classe_t`, est composé des fichiers types suivants :

Classe
<ul style="list-style-type: none"> <li>+ <code>ecs_classe_publ.h</code></li> <li>- <code>ecs_classe_priv.h</code></li> <li>+ <code>ecs_classe_suffixe.h</code></li> <li>- <code>ecs_classe_suffixe.c</code></li> </ul>

**Figure 6.3:** Fichiers types d'un *paquetage*

Les fichiers du *paquetage* **Classe**, visibles par un *paquetage* qui accède au *paquetage* **Classe**, sont précédés du caractère +. Les fichiers précédés du caractère - ne sont jamais visibles à l'extérieur du *paquetage*.

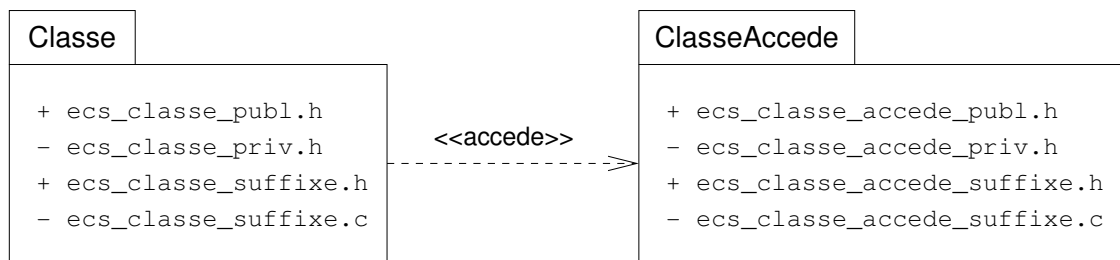
Le fichier `ecs_classe_suffixe.c` représente de manière générique l'ensemble des fichiers « .c » implémentant les fonctions liées à la structure `ecs_classe_t` (les *méthodes* de la *classe* **Classe**). Son fichier `include` associé, `ecs_classe_suffixe.h`, déclare les prototypes des fonctions du fichier `ecs_classe_suffixe.c` (et implémente l'interface de la *classe*).

On donne ci-dessous les règles précises de visibilité entre fichiers du *paquetage*.

**Règle 1 :** le fichier `ecs_classe_publ.h` n'inclut aucun fichier

- Règle 2 :** le fichier `ecs_classe_priv.h` peut inclure `ecs_classe_publ.h` (si `ecs_classe_publ.h` contient des énumérations utiles à `ecs_classe_priv.h` et utilisées en dehors du *paquetage*)
- Règle 3 :** les fichiers du type `ecs_classe_suffixe.h` n'incluent que `ecs_classe_publ.h`
- Règle 4 :** les fichiers du type `ecs_classe_suffixe.c` incluent :
- `ecs_classe_publ.h`,
  - `ecs_classe_priv.h`,
  - `ecs_classe_suffixe.h`.

**Règles de visibilité inter-paquetages** Considérons le cas suivant d'un *paquetage* *Classe* qui accède au *paquetage* *ClasseAccede* :



**Figure 6.4:** Relation type de dépendance entre *paquetages*

La figure 6.2 montre 2 types de relation entre *paquetages* :

- une relation de dépendance non stéréotypée représente une relation forte entre les 2 *paquetages* : la structure `ecs_classe_t` contient explicitement une référence à la structure `ecs_classe_accede_t` ;
- une relation de dépendance stéréotypée « association » représente une relation faible entre les 2 *paquetages* : la structure `ecs_classe_t` ne référence pas `ecs_classe_accede_t`, seules les fonctions liées à `ecs_classe_t` référencent en argument la structure `ecs_classe_accede_t`.

Les règles d'inclusion pour les fichiers de *Classe* par rapport aux fichiers de *ClasseAccede* sont plus ou moins fortes suivant l'un ou l'autre type de relation de dépendance.

Les règles d'inclusion pour les fichiers de *Classe* par rapport aux fichiers de *ClasseAccede* sont les suivantes :

- Règle 1 :** le fichier `ecs_classe_publ.h` n'inclut aucun fichier de *ClasseAccede*
- Règle 2 :** le fichier `ecs_classe_priv.h` n'inclut
- pour une relation de dépendance non stéréotypée :  
que `ecs_classe_accede_publ.h`
  - pour une relation de dépendance stéréotypée « association » :  
aucun fichier de *ClasseAccede*
- Règle 3 :** les fichiers du type `ecs_classe_suffixe.h` n'incluent que `ecs_classe_accede_publ.h`
- Règle 4 :** les fichiers du type `ecs_classe_suffixe.c` n'incluent que :
- `ecs_classe_accede_publ.h`
  - `ecs_classe_accede_suffixe.h`

Certaines relations indiquées sur la figure 6.2 représentent une dépendance très faible entre les *paquetages*. C'est le cas des 2 relations stéréotypées « association » suivantes :

- *paquetage* *Champ* dépendant du *paquetage* *Famille* ;

– *paquetage* EntitéMaillage dépendant du *paquetage* Famille.

Dans ces 2 cas, seules 2 fonctions des *paquetages* dépendants utilisent une structure `ecs_famille_t` en argument.

## 6.3 Correspondance entre structures C et classes

Cette section décrit les structures C qui ont été choisies pour implémenter les *classes*.

Pour établir le parallèle entre *classe* et structure C, on se référera constamment au chapitre 5.

### 6.3.1 Types de base

On donne ci-dessous les types de base définis dans le Préprocesseur.

Ils serviront à typer les membres des structures C.

Le premier cadre regroupe les types de base qui ne sont qu’une redéfinition des types primitifs du C, ainsi que les énumérations globales au code.

Le second cadre introduit un type *tableau* pour chacun des 4 types fondamentaux (entier, réel, chaîne de caractères et booléen) qui permet d’associer à un tableau de valeurs le nombre de valeurs du tableau.

```
typedef int      ecs_int_32_t ;    /* Entier sur 4 octets */
typedef double   ecs_real_32_t ;  /* Réel (virgule flottante) sur 4 octets */
typedef int      ecs_int_t ;      /* Entier (taille par défaut) */
typedef unsigned ecs_size_t ;     /* Taille pour les index */
typedef double   ecs_real_t ;     /* Réel (virgule flottante,
                                   double par défaut) */
typedef char     ecs_byte_t ;     /* Octet (unité de mémoire non typée) */
typedef ecs_real_t ecs_point_t[3] ; /* Points ou vecteurs en 3D */

typedef enum { ECS_FALSE ,        /* Faux          */
               ECS_TRUE  ,        /* Vrai          */
               } ecs_bool_t ;     /* Type booléen */

typedef enum { ECS_TYPE_char,
               ECS_TYPE_ecs_bool_t,
               ECS_TYPE_ecs_int_t,
               ECS_TYPE_ecs_int_32_t,
               ECS_TYPE_ecs_point_t,
               ECS_TYPE_ecs_real_t,
               ECS_TYPE_ecs_real_32_t,
               ECS_TYPE_void,
               } ecs_type_t ;     /* Énumération des différents types */

typedef enum { ECS_DIM_1 = 1,
               ECS_DIM_2,          /* Obligatoirement 2 */
               ECS_DIM_3,          /* Obligatoirement 3 */
               } ecs_dim_t ;       /* Dimension spatiale */
```

**Type défini 1:** Types de base (1) (fichier source `ecs_def_glob.h`)



```
typedef struct { size_t      nbr ;
                ecs_int_t   * val ;
} ecs_tab_int_t ;

typedef struct { size_t      nbr ;
                ecs_real_t   * val ;
} ecs_tab_real_t ;

typedef struct { size_t      nbr ;
                char         * * val ;
} ecs_tab_char_t ;

typedef struct { size_t      nbr ;
                ecs_bool_t   * val ;
} ecs_tab_bool_t ;
```

**Type défini 2:** Types de base (2) (fichier source `ecs_tab_glob.h` )

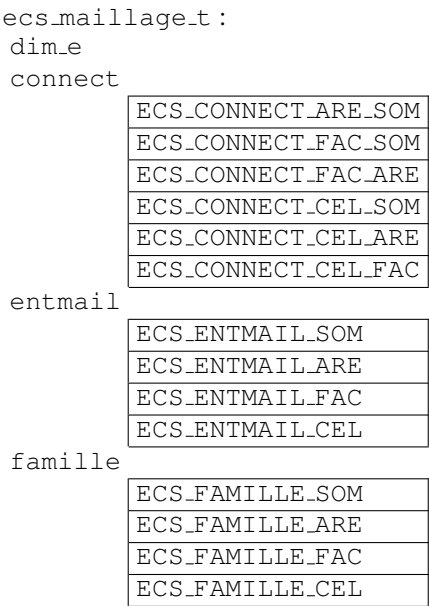
### 6.3.2 Maillage

La composition de la structure C implémentant un *maillage* est la suivante :

```
struct _ecs_maillage_t {
    ECS_DIM_E      dim_e ;
    ecs_connect_t  * connect[ECS_CONNECT_FIN] ;
    ecs_entmail_t  * entmail[ECS_ENTMAIL_FIN] ;
    ecs_famille_t  * famille[ECS_FAMILLE_FIN] ;
} ;
```

**Type défini 3:** Structure `ecs_maillage_t` (fichier source `ecs_maillage_priv.h` )

On donne ci-dessous une représentation graphique du contenu de la structure `ecs_maillage_t` en développant les tableaux statiques des membres de la structure.



**Figure 6.5:** Tableaux des membres de la structure `ecs_maillage_t`

La structure contient en puissance une référence à toutes les *entités de maillage* : si une *entité de maillage* n'existe pas, la référence est le pointeur NULL.

Par exemple, pour un *maillage* surfacique en 3D, on aura :

```
maillage->entmail[ECS_ENTMAIL_CEL] = NULL
```

De la même façon, la structure `ecs_maillage_t` contient en puissance une référence à toutes les *familles*.

La *classe-association* **Connectivité**, est implémentée de manière à être raccrochée à la structure principale `ecs_maillage_t`.

### 6.3.3 Entité de maillage

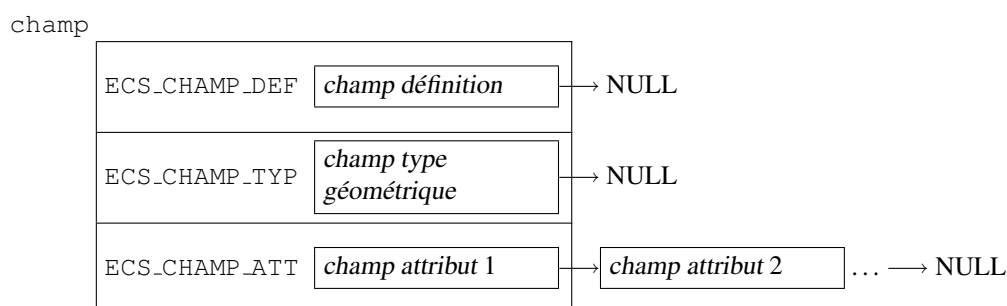
La composition de la structure C implémentant une *entité de maillage* est la suivante :

```
struct _ecs_entmail_t {
    ecs_champ_t * champ[ECS_CHAMP_FIN] ;
} ;
```

**Type défini 4:** Structure `ecs_entmail_t` (fichier source `ecs_entmail_priv.h`)

On donne ci-dessous une représentation graphique du contenu du membre `champ` de la structure `ecs_entmail_t` en développant les tableaux statiques.

La structure `ecs_entmail_t` contient les têtes de listes chaînées des différents types de *champ*. Afin de donner une généralité de structure à tous les types de *champ*, même les *champs principaux* sont constitués en liste chaînée : les têtes de liste sont, pour ces *champs*, les seuls maillons de la chaîne. Une fin de liste chaînée est toujours spécifiée par un pointeur NULL.



**Figure 6.6:** Tableau des *champs* d'une *entité de maillage*

On voit bien sur ce schéma que la hiérarchie des *champs* (cf. Figure 5.7, page 29) a été « aplatie » :

- les *champs principaux* étant connus et peu nombreux ils sont directement mentionnés dans le tableau ci-dessus ;
- il ne reste dans la hiérarchie des *champs auxiliaires* que catégorie des *champs attribut* ;

### 6.3.4 Connectivité

La composition de la structure C implémentant une *connectivité* est la suivante :

```
struct _ecs_connect_t {
    ECS_CONNECT_NAT_E    connect_nat_e ;
    ecs_entmail_t        * entmail ;
    ecs_entmail_t        * entmail_inf ;
} ;
```

**Type défini 5:** Structure `ecs_connect_t` (fichier source `ecs_connect_priv.h`)

La structure référence directement l'entité de maillage « mère » (`entmail`) et l'entité de maillage « fille » d'éléments d'ordre inférieur (`entmail_inf`) (cf. Figure 5.5, page 27).

C'est la manière dont est implémentée l'association entre les classes EntitéMaillage.

La classe-association Connectivité est complètement implémentée par la référence de la structure `ecs_connect_t` dans la structure `ecs_maillage_t` (cf. § 6.3.2, page 41).

Le membre `connect_nat_e` spécifie la nature de la connectivité (la connectivité est décrite, soit en termes de labels d'éléments, soit en termes d'indices d'éléments) :

```
typedef enum {
    ECS_CONNECT_NAT_INDEX,
    ECS_CONNECT_NAT_LABEL
} ECS_CONNECT_NAT_E ;
```

### 6.3.5 Famille

La composition de la structure C implémentant une famille est la suivante :

```
struct _ecs_famille_t {
    ecs_descr_t        * descr ;
    struct _ecs_famille_t * l_famille_sui ;
} ;
```

**Type défini 6:** Structure `ecs_famille_t` (fichier source `ecs_famille_priv.h`)

La collection des *descripteurs* décrivant une famille (cf. Figure 5.6, page 27) est implémentée sous la forme d'une liste chaînée de *descripteurs* dont la tête de liste `descr` est référencée dans la structure `ecs_famille_t`.

### 6.3.6 Champ

**Description de la structure** La composition de la structure C implémentant un champ est la suivante :

```
struct _ecs_champ_t {
    size_t            nbr_elt ;
    ecs_type_t        typ_val ;
    ecs_size_t        pos_pas ;
    ecs_int_t         * pos_tab ;
    void              * val_tab ;
    char              * nom ;
    ECS_CHAMP_STATUT_E statut_e ;
    ecs_descr_t        * descr ;
    struct _ecs_champ_t * l_champ_sui ;
} ;
```

**Type défini 7:** Structure `ecs_champ_t` (fichier source `ecs_champ_priv.h`)

Les *attributs* nombre d'éléments et type (cf. § 5.5.2, page 28) sont directement implémentés par les membres respectifs `nbr_elt` et `typ_val`. De même, les *attributs* nom et statut (cf. § 5.5.2, page 28) sont directement implémentés par les membres respectifs `nom` et `statut_e`. Le membre `statut_e` est de type énuméré :

```
typedef enum {
    ECS_CHAMP_STATUT_INDEFINI      = -1 ,
    ECS_CHAMP_STATUT_REF_ELT      ,
    ECS_CHAMP_STATUT_HERITABLE
} ECS_CHAMP_STATUT_E ;
```

Les *tables des positions et valeurs* qui composent la *classe* Champ (cf. Figure 5.8, page 30) sont directement référencées dans la structure `ecs_champ_t` :

- `pos_tab` est un pointeur sur la *table des positions* ; si celle-ci peut être définie par une *table réglée*, ce pointeur est nul, et on utilise l'attribut `pos_pas`.
- `val_tab` est un pointeur sur la *table des valeurs*.

La collection des *descripteurs* décrivant les *propriétés* du *champ propriété* est implémentée sous la forme d'une liste chaînée de *descripteurs* dont la tête de liste `descr` est référencée dans la structure `ecs_champ_t`. Si le *champ* n'est pas un *champ propriété*, `descr` est le pointeur NULL.

**Caractéristiques des champs** Dans cette section, on fait pour chaque type de *champ*, un bilan des différentes valeurs que prennent les membres de la structure `ecs_champ_t`.

Caractéristiques des <i>champs principaux</i>		
statut du <i>champ</i>	<code>statut_e</code>	ECS_CHAMP_STATUT_HERITABLE
<i>table des valeurs</i>	<code>val_tab</code>	valeurs entières
<i>descripteur de champ attribut</i>	<code>descr</code>	NULL
lien sur un <i>champ</i> suivant	<code>l_champ_sui</code>	NULL
Caractéristiques du <i>champ définition</i>		
nom	<code>nom</code>	« définition »
<i>table des positions</i>	<code>pos_pas</code> <code>pos_tab</code>	<i>table réglée</i> ou non
Caractéristiques du <i>champ type géométrique</i>		
nom	<code>nom</code>	« type geometrique »
<i>table des positions</i>	<code>pos_pas</code> <code>pos_tab</code>	1 NULL

Caractéristiques d'un <i>champ attribut</i>		
nom	<code>nom</code>	« label », « couleur », « groupe », « famille » ou « filiation »
statut du <i>champ</i>	<code>statut_e</code>	ECS_CHAMP_STATUT_INDEFINI ou ECS_CHAMP_STATUT_HERITABLE ou ECS_CHAMP_STATUT_REF_ELT
<i>table des positions</i>	<code>pos_tab</code>	<i>table réglée</i> ou non
<i>table des valeurs</i>	<code>val_tab</code>	valeurs entières
<i>descripteur de champ attribut</i>	<code>descr</code>	pointeur sur <i>descripteur</i> tête
lien sur un <i>champ</i> suivant	<code>l_champ_sui</code>	pointeur sur <i>champ</i> suivant ou NULL

**Répartition des fonctions dans les fichiers** Les *méthodes* relatives à la super-classe Champ, sont implémentées sous forme de fonctions dans le fichier `ecs_champ.c` : elles s'appliquent à n'importe quel type de *champ*.

Les *méthodes* relatives aux sous-classes de Champ, sont implémentées sous forme de fonctions dans un fichier correspondant à la sous-classe. Le tableau ci-dessous donne la correspondance entre les types de *champs* et leur fichier associé :

Type de champ	Énumérateur	Fichier associé
<i>champ définition</i>	ECS_CHAMP_DEF	ecs_champ_def.c
<i>champ type géométrique</i>	ECS_CHAMP_TYP	ecs_champ_typ.c
<i>champ attribut</i>	ECS_CHAMP_ATT	ecs_champ_att.c

Les *méthodes* dépendantes de la *classe* associée *VecteurIndexé*, sont réparties dans les fichiers suivants :

- les fonctions référant la structure `ecs_vec_int_t` sont contenues dans le fichier `ecs_vec_int.c` ;
- les fonctions référant la structure `ecs_vec_real_t` sont contenues dans le fichier `ecs_vec_real.c` ;
- les fonctions référant à la fois les structures `ecs_vec_int_t` et `ecs_vec_real_t` sont contenues dans le fichier `ecs_vec.c`.

Enfin, les fonctions gérant les listes chaînées de *champs* sont placées dans le fichier `ecs_champ_chaine.c`.

### 6.3.7 Descripteur

La composition de la structure C implémentant un *descripteur* est la suivante :

```
struct _ecs_descr_t {
    ecs_int_t      num      ;
    ECS_DESCR_TYP_E typ_e   ;
    ecs_int_t      ide      ;
    char           * nom     ;
    struct _ecs_descr_t * l_descr_sui ;
} ;
```

**Type défini 8:** Structure `ecs_descr_t` (fichier source `ecs_descr_priv.h`)

Le membre `num` de la structure représente le numéro du *descripteur* qui intervient :

- soit dans le *champ famille* si c'est un *descripteur* intervenant dans la définition d'une *famille* ;
- soit dans le *champ propriété* si c'est un *descripteur* intervenant dans la définition d'une *propriété*.

Une nouvelle fois, la *généralisation* des *descripteurs* (cf. Figure 5.9, page 30) est implémentée en aplatissant la hiérarchie des *classes* : pour différencier le type de *descripteur* (*descripteur de couleur* ou *descripteur de groupe*) le membre `typ_e` a un type énuméré :

```
typedef enum {
    ECS_DESCR_TYP_COULEUR ,
    ECS_DESCR_TYP_GROUPE
} ECS_DESCR_TYP_E ;
```

Un *descripteur de couleur* n'ayant pas de nom, il aura le membre `nom` à NULL.

Le numéro identifiant la *couleur* (ou le *groupe*) est stocké dans le membre `ide`.

La *classe* *Descripteur* n'intervient, dans les diagrammes de relations entre *classes*, que dans des relations d'*agrégation*, comme le montre la figure 5.10. Le choix des relations d'*agrégation* sous-entendait qu'un même *descripteur* pouvait appartenir, d'une part à l'ensemble des *descripteurs* participant à la définition d'une *famille*, d'autre part à l'ensemble des *descripteurs* participant à la définition d'un *champ propriété*.

De plus, un même *descripteur* pouvait participer à la définition de plusieurs *familles*.

## 6.4 Structures Vecteur Indexé

Les *vecteur indexé* n'ont pas fait l'objet d'une description en termes de *classe*, car ce sont des structures d'implémentation.

Les valeurs d'un *champ* sont stockées dans la *table des valeurs*, et sont accessibles grâce au couple des *tables des positions et valeurs*.

La structure *vecteur indexé* réimplémente le stockage de ces valeurs de façon à ce qu'elles soient plus facilement accessibles.

L'objectif qui a prévalu à la conception de la structure *champ*, a été de limiter au maximum l'encombrement mémoire du stockage de ses valeurs.

Une contrainte pour la construction du stockage des valeurs, était de limiter les appels à l'allocation mémoire. La solution consistant à créer deux tableaux uni-dimensionnels, l'un contenant les valeurs à stocker, l'autre les indices de début des valeurs associées à chaque élément, ne nécessite que deux appels à la fonction système d'allocation dynamique.

Si le rangement des valeurs coïncide avec un tableau rectangulaire  $n \times m$ , le tableau contenant les indices de début et fin pour chaque élément sera une suite arithmétique de raison  $m$  et ne consommera pas de place mémoire.

À une *table des valeurs* sur un ensemble d'éléments, il sera donc toujours associée une *table des positions*, qui contient les indices de début des valeurs associées à l'élément (l'indice de fin correspondant à l'indice de début associé à l'élément suivant  $-1$ ).

De façon générale, les valeurs d'un champ sont stockées dans un tableau, ainsi que l'index (où tableau des positions) associé à ces valeurs. Cependant, si le tableau des positions constitue une suite arithmétique, plutôt que d'allouer un tableau des positions sur tous les éléments du *champ*, on ne stockera que la raison arithmétique de cette suite (son pas). En procédant de cette manière, le gain de place mémoire peut être très important.

Par exemple, pour un *champ* indiquant le numéro de famille associé à chacun de 999 éléments, on aura une famille et une seule par élément, d'où un pas de la table des positions égal à 1, comme suit :

```
pos_pas  1
pos_tab  NULL
val_tab  <...>
```

On n'utilise les *table des positions* que pour les champs d'entiers, les champs réels rencontrés (coordonnées des *sommets*) ne pouvant que très rarement s'exprimer sous cette forme. Pour un champ réel, on aura toujours une *table réglée* pour les positions.

## 6.4.1 Vecteur Indexé

La composition de la structure C implémentant un *vecteur indexé entier* est la suivante :

```
struct _ecs_vec_int_t {
    size_t      pos_nbr ;
    ecs_size_t  * pos_tab ;
    ecs_int_t   * val_tab ;
} ;
```

**Type défini 9:** Structure `ecs_vec_int_t` (fichier source `ecs_vec_int_priv.h`)

La composition de la structure C implémentant un *vecteur indexé réel* est la suivante :

```

struct _ecs_vec_real_t {
    size_t      pos_nbr ;
    ecs_size_t  pos_pas ;
    ecs_real_t  * val_tab ;
} ;

```

**Type défini 10:** Structure `ecs_vec_real_t` (fichier source `ecs_vec_real_priv.h`)

Le vecteur *indexé entier* réimplémente le couple des *tables des positions et valeurs* en une seule structure. Elle contient le nombre de positions, un tableau des positions entier et un tableau des valeurs typé. Si la *table des positions* n'est pas une *table réglée*, le tableau de la *table des positions* correspond à celui du vecteur *indexé*. si la *table des positions* est une *table réglée*, la suite arithmétique est développée en un tableau pour le vecteur *indexé*. De même, le tableau de la *table des valeurs* correspond à celui du vecteur *indexé*, mais ce dernier est typé.

Dans le cas du vecteur *indexé réel*, la *table des positions* est une *table réglée* dans tous les cas envisagés. On ne définit donc pas le tableau des positions pour un vecteur *indexé réel*, mais directement le pas, la première position étant toujours égale à 1.

La structure `ecs_champ_t` a été conçue comme une structure de stockage de données et n'est pas forcément commode à utiliser en pratique, notamment pour l'implémentation des algorithmes :

- elle nécessiterait de différencier le cas où la *table des positions* est une *table réglée* du cas où la *table des positions* n'est pas une *table réglée* ;
- la *table des valeurs* nest pas typée (plus précisément, elle a le type `void *`), il faudrait donc commencer par réaliser une conversion de type sur ce tableau pour l'utiliser.

Un vecteur *indexé* (de type `ecs_vec_int_t` ou `ecs_vec_real_t`) permet de définir un *champ* mais a une existence propre :

- un vecteur *indexé* associé à un *champ* peut être créé et détruit à tout moment ;
- si le *champ* est détruit, le vecteur *indexé* n'est pas détruit (on prendra garde justement à ce qu'il n'existe plus de vecteur *indexé* associé au *champ* à détruire) ;
- un vecteur *indexé* peut être créé sans être associé à un *champ*.

Autrement dit, la structure `ecs_vec_int_t` a été conçue pour avoir une durée de vie temporaire (le temps de l'exécution de quelques fonctions) alors que la structure `ecs_champ_t` a une durée de vie plus longue.

Les sections 7.3 et 7.4 contiennent des compléments d'information sur l'utilisation d'un vecteur *indexé*.

## 6.4.2 Lien entre les « positions » et les « valeurs »

Le but de cette section est de préciser le lien entre les « positions » et les « valeurs ». Ce lien existe de manière équivalente :

- soit entre la *table des positions* et la *table des valeurs* ;
- soit entre les tableaux `pos_tab` et `val_tab` des structures `ecs_vec_int_t`.

On commence par décrire ce lien dans le cas général, puis on l'illustrera sur 2 exemples représentatifs.

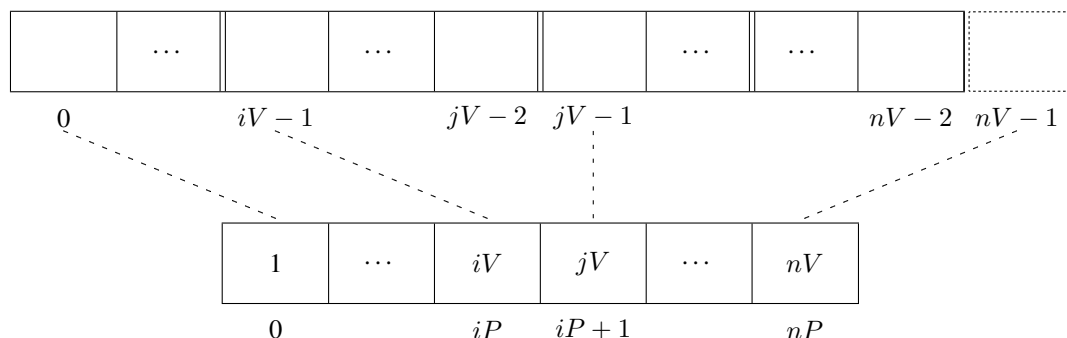
Pour les explications qui suivent, qu'il s'agisse du tableau de la *table des positions* (éventuellement construit à partir de la suite arithmétique) ou du tableau des positions du vecteur *indexé*, on appelle *pos\_tab* le tableau des positions.

Pour connaître les positions des valeurs d'un élément d'indice  $iE$ , on cherche l'indice  $iP = iE$  du tableau des positions *pos\_tab*. Le nombre de valeurs associées à l'élément  $iE$  est donné par  $pos\_tab[iP + 1] - pos\_tab[iP]$ . L'indice, dans le tableau des valeurs, de la 1ère valeur est  $pos\_tab[iP] - 1$ , et celui de la dernière valeur est  $pos\_tab[iP + 1] - 2$ .

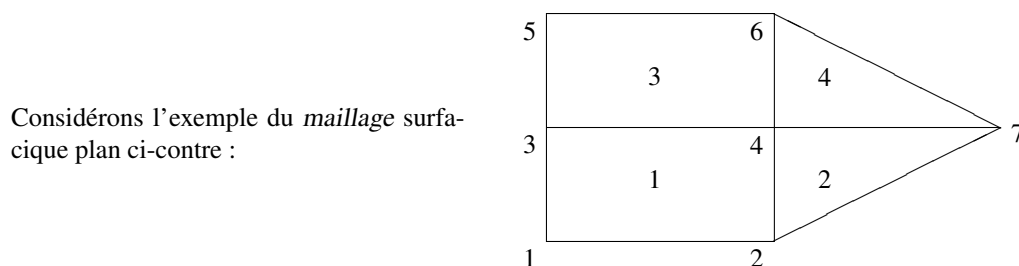
La 1<sup>ère</sup> valeur du tableau des positions est toujours égale à 1 :  $pos\_tab[0] = 1$ , et si on a  $N$  éléments, le tableau des positions a la dimension  $pos\_nbr = N + 1 = nP + 1$ .

La dimension du tableau des valeurs est donnée par  $pos\_tab[pos\_nbr - 1] - 1 = pos\_tab[nP] - 1$ .

On représente ci-dessous les liens entre le tableau des positions et le tableau des valeurs : le tableau des positions est placé en dessous du tableau des valeurs,  $iP$  est un indice du tableau des positions,  $iV$  est un indice du tableau des valeurs.

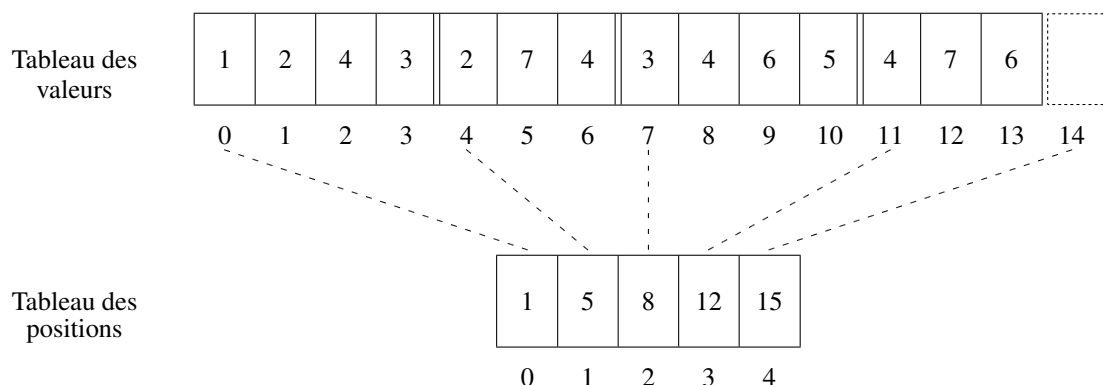


On illustre le lien entre les tableaux des positions et des valeurs dans un cas concret.



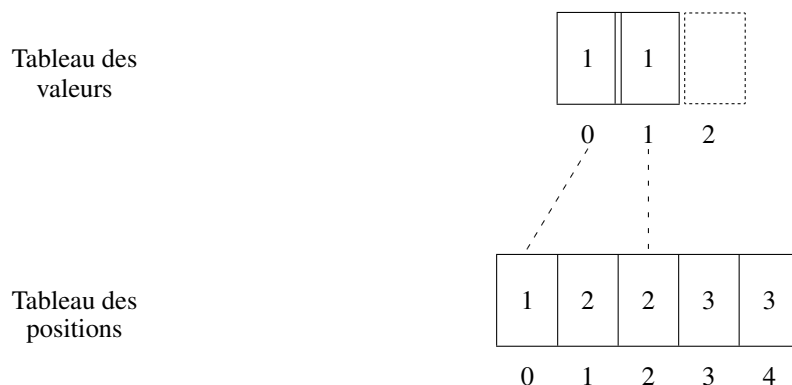
Considérons l'exemple du *maillage* surfacique plan ci-contre :

Ce *maillage* (très simple !) est composé de 2 quadrangles (numérotés 1 et 3) et de 2 triangles (numérotés 2 et 4). On construit les tableaux des positions et des valeurs correspondants à la définition des éléments en fonction des *sommets* (numérotés de 1 à 7) :



Supposons maintenant que les quadrangles appartiennent à un *groupe* nommé « QUAD » et portant le numéro 1. Les triangles sont supposés quant à eux n'appartenir à aucun *groupe*. Les tableaux des positions et des valeurs correspondants au *champ groupe* sont représentés ci-dessous :





Cet exemple montre comment est construit le tableau des positions lorsqu'un élément n'a pas de valeur : les positions de cet élément et de l'élément suivant sont égales.

Pour d'autres exemples de tableaux de position et de valeurs, et plus généralement d'autres exemples de contenus de structure `ecs_table_t`, on se reportera à l'annexe [A](#) reproduisant une transcription complète sur fichier de la structure `ecs_maillage_t` et de ses sous-structures correspondant à l'exemple de *maillage* surfacique plan décrit dans la présente section. (Dans ce fichier, les *sommets* ont une *couleur* 1 et les *faces* ont une *couleur* 7)

## 6.5 Autres structures

Les classes principales ne sont pas les seules utilisées. D'autres structures et classes sont définies, mais leur définition est plus liée à l'application qu'au modèle de données interne. Ainsi, on les décrit pas en détail ici, mais on en énumère quelques unes :

- La classe `ecs_cmd_t` permet de conserver en mémoire les choix effectués au moyen des options de la ligne de commande. Un seul objet de cette classe est instancié.
- La structure `ecs_post_t` relative au choix des formats de post-traitement contient des listes chaînées de structures décrivant pour chaque format de sortie disponible les différents cas actifs. Ces structures contiennent elles-mêmes les descripteurs de fichiers utilisées, la liste des maillages associés, etc.
- La classe `ecs_renum_t` contient une structure de données très proche de celle vue par le Noyau. Un seul objet de cette classe est construit à partir du maillage principal « final » (i.e. après les recollements conformes ou autres traitements modifiant la topologie d'un maillage). Cette classe est surtout chargée du découpage de domaines pour le parallélisme et du calcul et maintien des correspondances entre la numérotation globale et les numérotations locales.

EDF R&D	<i>Code_Saturne</i> version 1.3.2 : <b>manuel informatique du Préprocesseur</b>	<i>Code_Saturne</i> documentation Page 50/78
---------	--	--

EDF R&D	<i>Code_Saturne</i> version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur	<i>Code_Saturne</i> documentation Page 51/78
---------	---	--

## Troisième partie

# Programmation



## 7 Utilisation de la structure objet

Les grandes lignes de la structure objet du Préprocesseur ont été exposées dans le chapitre précédent.

Dans le présent chapitre, on donne des informations utiles à la programmation dans le Préprocesseur, notamment :

- sur la manière d'utiliser la structure objet ;
- sur l'emploi des fonctions disponibles pour utiliser au mieux la structure objet.

Les informations contenues dans ce chapitre sont très techniques et pour mieux les illustrer, des exemples seront directement sortis des sources du Préprocesseur <sup>6</sup>.

### 7.1 Mise en place des relations de visibilité

La compilation est configurée de telle manière qu'il est toujours possible, a priori, d'inclure n'importe quel fichier en-tête « .h » dans un fichier source.

Afin de respecter l'architecture du Préprocesseur, on appliquera systématiquement les règles de visibilité exposées à la section 6.2.

On reprend le cas générique décrit à la section 6.2.2, où un *paquetage* `Classe` accède à un *paquetage* `ClasseAccede`.

Supposons qu'on veuille renseigner la rubrique du fichier `ecs_classe_suffixe.c`

```
* Fichiers 'include' visibles des paquetages visibles
```

Cette rubrique propose d'inclure, si nécessaire, les fichiers en-tête « .h » visibles du *paquetage* `ClasseAccede` :

- `ecs_classe_accede_publ.h`
- `ecs_classe_accede_suffixe.h`

Si le *paquetage* `Classe` correspond en fait au *paquetage* `EntitéMaillage` (cf. Figure 6.2, page 38), les seuls *paquetages* visibles sont `Famille` et `Champ`.

### 7.2 Utilisation des relations entre paquetages

#### 7.2.1 Fonctions liées à une structure C

Les noms des fonctions liées à une structure C `ecs_classe_t`, afin de rappeler qu'elles sont les implémentations des *méthodes* de la *classe* `Classe`, sont préfixées par

```
ecs_classe__
```

et leur nom complet est de la forme

```
ecs_classe__xyz()
```

Ces fonctions sont contenues dans les fichiers `ecs_classe_suffixe.c`.

Une sous-classe de la *classe* `Classe`, `SousClasse`, n'est jamais implémentée en tant que structure C : elle est directement définie par la structure `ecs_classe_t`.

Les *méthodes* de la sous-classe sont regroupées, quant à elles, dans un fichier dédié à la sous-classe et les fonctions mentionnent la sous-classe dans leur nom.

Par exemple, la sous-classe `ChampAttribut` de la *classe* `Champ` est définie directement par la structure `ecs_champ_t` ; les fonctions qui implémentent ses *méthodes* sont contenues dans le fichier `ecs_champ_att.c` et ont un nom de la forme `ecs_champ_att__xyz()`.

<sup>6</sup>Les morceaux de programme qui servent d'exemple, sont retranscrits tels qu'ils existent, moyennant un reformatage pour les besoins de mise en page, consistant à la suppression de lignes blanches et d'espaces.

## 7.2.2 Appel d'une fonction sur une structure visible

Comme conséquence des relations de visibilité, une fonction liée à une structure ne peut appeler que deux types de fonction :

- soit une fonction du même *paquetage* ;
- soit une fonction d'un *paquetage* visible.

Considérons le cas du traitement du tri des *éléments de maillage* suivant leur *type géométrique*.

Au niveau de l'*entité de maillage*, la fonction

```
ecs_entmail_pcp__trie_typ_geo()
```

retranscrite ci-dessous, réalise tous les traitements relatifs à la structure `ecs_entmail_t` et délègue la suite des traitements aux fonctions s'appliquant sur les *champs*.

---

### Exemple 7.1 Appel d'une fonction sur une structure visible (1)

---

```
/*-----
 * Fonction qui réalise le tri des éléments
 * de l'entité de maillage principale donnée
 * suivant leur type géométrique
 *-----*/

void ecs_entmail_pcp__trie_typ_geo(ecs_entmail_t * entmail)
{
    ecs_tab_int_t vect_renum ;

    if (entmail->champ[ECS_CHAMP_TYP] != NULL) {
        /* Tri des types geometriques des elements */
        /*-----*/

        vect_renum = ecs_champ_typ__trie(entmail->champ[ECS_CHAMP_TYP]) ;

        if (vect_renum.val != NULL) {

            /* Application du vecteur de renumeration sur les autres champs */
            /*-----*/

            ecs_tab__int__inverse(&vect_renum) ;

            /* Traitement du champ representant les definitions */
            ecs_champ_chaine__transforme(entmail->champ[ECS_CHAMP_DEF],
                                       vect_renum.nbr,
                                       vect_renum,
                                       ecs_champ__transforme_pos) ;

            /* Traitement des champs "attribut" */
            ecs_champ_chaine__transforme(entmail->champ[ECS_CHAMP_ATT],
                                       vect_renum.nbr,
                                       vect_renum,
                                       ecs_champ__transforme_pos) ;

            BFT_FREE(vect_renum.val) ;
        } /* Fin : si le vecteur de renumeration n'est pas NULL */
    } /* Fin : s'il y a des types geometriques */
}
```

---

On ne s'étonnera pas qu'à un niveau de structure donné, aucun traitement ne soit nécessaire : la fonction liée à la structure se contente alors de transférer le traitement à effectuer sur une structure visible de plus bas niveau.

Dans l'exemple ci-dessous, aucun traitement au niveau de la structure `ecs_maillage_t` n'est nécessaire : la fonction `ecs_maillage__calc_coo_ext()` se contente d'afficher les coordonnées minimales et maximales du domaine.

---

### Exemple 7.2 Appel d'une fonction sur une structure visible (2)

---

```

/*-----
 * Calcul des coordonnées min et max du domaine
 *-----*/

void ecs_maillage__calc_coo_ext(ecs_maillage_t *const maillage)
{
    assert(maillage != NULL) ;

    if (maillage->dim_e == ECS_DIM_3) {

        assert(maillage->entmail != NULL) ;
        assert(maillage->entmail[ECS_ENTMAIL_SOM] != NULL) ;

        ecs_entmail_pcp__calc_coo_ext(maillage->entmail[ECS_ENTMAIL_SOM]) ;

    }
}

```

---

## 7.3 Utilisation de la structure *champ*

La structure relative à un *champ* jouant un rôle central dans le Préprocesseur et ayant une constitution assez complexe, son utilisation est décrite en détail dans ce chapitre.

Bien que le contenu d'un champ puisse être utilisé ou rempli indifféremment soit directement soit à partir des structures *vecteur indexé*, pour l'implémentation des algorithmes on utilisera la structure *vecteur indexé* (cf. § 6.4.1, page 46).

Un ensemble de fonctions disponibles permettent de passer directement d'une structure *champ* à la structure *vecteur indexé* associée, et inversement.

Ces fonctions appellent des fonctions de plus bas niveau, qui construisent un *vecteur indexé* à partir du *champ*, en réalisant les actions suivantes :

- si le tableau des positions suit une *table réglée*, un tableau alloué est construit, et la structure *vecteur indexé* référence le pointeur sur ce tableau ;
- si le tableau des positions n'est pas une *table réglée*, la structure *vecteur indexé* référence directement le pointeur sur le tableau des positions du *champ*.
- la structure *vecteur indexé* référence directement le pointeur sur le tableau des valeurs du *champ*, moyennant la conversion de type qui convient.

Les fonctions dédiées à la transformation inverse commencent par vérifier si les valeurs du tableau des positions du *vecteur indexé* peuvent constituer une suite arithmétique (commençant à 1) : si c'est le cas, le tableau des positions du *champ* est défini par la *table réglée* correspondante, et dans le cas contraire, le tableau du *vecteur indexé* sera directement référencé dans le *champ*. Le tableau de valeurs du *vecteur indexé* sera directement référencé dans le *champ*.

On voit donc qu'un *champ* et le *vecteur indexé* associé sont intimement liés, puisqu'ils peuvent référencer le même pointeur sur un tableau. Cela évite d'avoir à allouer un nouveau tableau et d'effectuer une copie pour le remplir. La contrepartie de cette façon de procéder, c'est qu'un même pointeur sur un tableau est référencé dans deux structures différentes. Pour éviter les problèmes de pointeur « perdu », on utilisera toujours utiliser les fonctions de passage du *champ* au *vecteur indexé* (qui effectuent ces conversions et éventuelles libérations de manière fiable).

On décrit dans les sections suivantes les fonctions permettant de créer, modifier et utiliser la structure *champ*, en insistant particulièrement sur les fonctions de passage d'un *champ* à son *vecteur indexé* associé.

L'utilisation de ces fonctions est illustrée dans des cas concrets, directement tirés des sources du Préprocesseur.

Parmi les exemples suivants, ceux qui mettent en jeu un *vecteur indexé* concernent un *vecteur indexé entier*, mais toutes les fonctions mentionnées dans ce cas ont leur équivalent pour un *vecteur indexé réel*.

### 7.3.1 Utilisation d'un *champ* existant non modifié

Le passage d'un *champ*, dont le contenu ne sera pas modifié, au *vecteur indexé* correspondant repose sur l'utilisation de deux fonctions :

- la fonction qui retourne la structure *vecteur indexé*, remplie à partir du *champ* :  

```
ecs_vec_int_t * ecs_champ__initialise_vec_int(ecs_champ_t * this_champ)
```
- la fonction qui libère la structure *vecteur indexé* et les éventuels tableaux réglés associés au *champ* :  

```
void ecs_champ__libere_vec_int(ecs_champ_t * this_champ,  
                             ecs_vec_int_t * vec_int)
```

Dans l'exemple qui suit, le *tableau* `tab_ref` est construit à partir du *vecteur indexé* `vec_int` correspondant au *champ* `this_champ`. Le *champ* n'étant pas modifié, les 2 fonctions précitées sont utilisées pour passer du *vecteur indexé* au *champ* et inversement.

---

#### Exemple 7.3 Utilisation d'un *champ* existant non modifié

---

```
ecs_tab_int_t ecs_champ__ret_reference(ecs_champ_t   *const this_champ,  
                                     size_t          nbr_ref)  
{  
    ecs_tab_int_t  tab_ref;  
    ecs_vec_int_t * vec_int;  
  
    vec_int = ecs_champ__initialise_vec_int(this_champ);  
    tab_ref = ecs_vec_int__ret_reference(vec_int, nbr_ref);  
    ecs_champ__libere_vec_int(this_champ, vec_int);  
    return tab_ref;  
}
```

---

### 7.3.2 Utilisation d'un *champ* existant à modifier

Pour répercuter les modifications d'un *vecteur indexé* au *champ* qui lui est associé, on utilisera la fonction :

```
void ecs_champ__transfere_vec_int(ecs_champ_t * this_champ,  
                                ecs_vec_int_t * vec_int)
```

où `this_champ` est le *champ* dans lequel le *vecteur indexé* sera transféré, et `vec_int` est le *vecteur indexé* à transférer.

Dans l'exemple ci-dessous, le *vecteur indexé* initial correspondant au *champ* `this_champ` est construit de la même manière que précédemment avec la fonction `ecs_champ__initialise_vec_int`. Mais cette fois, il s'agit de répercuter les modifications du contenu du *vecteur indexé*=`vec_int` au *champ* qui lui est associé.

---

#### Exemple 7.4 Utilisation d'un *champ* existant à modifier

---

```
/*-----  
 * Fonction qui incrémente les valeurs d'un champ donné d'une constante donnée  
 *-----*/  
  
void ecs_champ__incrimente_val(ecs_champ_t * this_champ,  
                              ecs_int_t   increment)  
{  
    ecs_vec_int_t *vec_int ;  
  
    vec_int = ecs_champ__initialise_vec_int(this_champ) ;  
    ecs_vec_int__incrimente_val_sgn(vec_int, increment) ;  
    ecs_champ__transfere_vec_int(this_champ, vec_int) ;  
}
```

---





Dans l'exemple suivant, cette fonction est appelée pour construire le *champ définition* des *sommets* après lecture d'un fichier de maillage. les *tables des positions et valeurs* sont des suites arithmétiques et il est possible de renseigner directement les valeurs qui seront attribuées au *champ* :

---

#### Exemple 7.6 Création complète d'un *champ*

---

```

/*-----
 *  Fonction qui renvoie une structure "entité de maillage" pour les sommets,
 *  construite à partir de tableaux remplis lors de la lecture des données
 *-----*/

ecs_entmail_t * ecs_pre__cree_entmail_som
(
  ecs_dim_t      dim_e,
  size_t         nbr_som,
  ecs_real_t     * som_val_coord,
  ecs_int_t      * som_val_label
)
{
  /* Debut du corps de la fonction */

  champ_definit
    = ecs_champ__cree(nbr_som,
                      ECS_DIM_3,
                      NULL,
                      som_val_coord,
                      ECS_TYPE_ecs_real_t,
                      ECS_CHAMP_NOM_DEFINIT,
                      NULL,
                      ECS_CHAMP_STATUT_HERITABLE) ;

  /* Suite du corps de la fonction */
}

```

---

### 7.3.4 Rattachement d'un champ à une *entité de maillage*

Une fois le *champ* créé, si c'est un champ qui doit appartenir à la structure *maillage* de base, il doit être rattaché au pointeur sur le type de *champ* correspondant (*champ définition*, *champ type géométrique*, ou listes chaînées *champ attribut*).

On utilisera pour cela la fonction :

```

void ecs_champ_chaine__ajoute(ecs_champ_t * *const this_champ_tete,
                              ecs_champ_t  *const champ_concat_tete)

```

qui rajoute la liste chaînée à concaténer (dont la tête de liste est *champ\_concat\_tete*) à la fin de la liste chaînée réceptrice (dont la tête de liste est *this\_champ\_tete*).

Dans l'exemple qui suit, les *champs couleur* et *groupe* sont construits à partir du *champ famille*. Une fois construits, ils sont rattachés à la liste chaînée des *champs attribut* de l'*entité de maillage* *this\_entmail*.

```

/*
 * Fonction qui construit les attributs "groupe" et "couleur"
 * à partir des familles
 */
-----*/

void ecs_entmail_pcp__cree_attribut(ecs_entmail_t *const this_entmail,
                                   ecs_famille_t *const famille)
{
    ecs_champ_t * champ_couleur ;
    ecs_champ_t * champ_famille ;
    ecs_champ_t * champ_groupe ;

    if (this_entmail->champ[ECS_CHAMP_ATT] != NULL) {
        champ_famille = ecs_champ_chaine__trouve_nom
            (this_entmail->champ[ECS_CHAMP_ATT],
             ECS_CHAMP_NOM_FAMILLE) ;
    }
    else {
        champ_famille = NULL ;
    }

    if (champ_famille != NULL) {

        /* Creation des champs "couleur" et "groupe" */
        ecs_champ_att__cree_att_fam(champ_famille,
                                    famille,
                                    &champ_couleur,
                                    &champ_groupe) ;

        /* Suppression du champ "famille" */
        /* de la liste chainee des champs "attribut" */
        ecs_champ_chaine__supprime(&champ_famille,
                                   &this_entmail->champ[ECS_CHAMP_ATT]) ;

        /* Liberation du champ "famille" */
        ecs_champ__detruit(champ_famille) ;

        /* Ajout des champs "couleur" et "groupe" */
        /* a la liste chainee des champs "attribut" */
        ecs_champ_chaine__ajoute(&this_entmail->champ[ECS_CHAMP_ATT],
                                champ_couleur) ;
        ecs_champ_chaine__ajoute(&this_entmail->champ[ECS_CHAMP_ATT],
                                champ_groupe) ;
    }
}

```

[illegible]

La fonction de suppression d'un champ d'une liste chaînée de *champs* est utilisée dans cet exemple, afin de supprimer parmi les *champs attribut*, le *champ famille*, une fois les *champs couleur* et *groupe* construits. Cette fonction a pour 1er argument le *champ* à supprimer, et pour second argument, la tête de la liste chaînée dans laquelle le champ doit être supprimé :

[illegible]

Le *champ* ainsi supprimé perd bien entendu son lien sur le *champ* suivant qu'il avait lorsqu'il appartenait à la liste chaînée (le lien sur le *champ* suivant est à mis à NULL, et l'ancienne valeur est affectée au *champ* suivant du *champ* précédent celui qui est supprimé, afin de recomposer la liste).

Cette fonction se contente de retirer le *champ* de la liste chaînée, mais ne le détruit pas. Dans l'exemple ci-dessus, le *champ famille* est détruit explicitement après avoir été supprimé de la liste chaînée.

## 7.4 Utilisation de la structure *vecteur indexé*

Dans la section précédente on a vu comment créer ou utiliser un *vecteur indexé* à partir d'un *champ*. Il reste un seul cas d'utilisation de la structure *vecteur indexé* qui n'a pas encore été décrit, celui qui ne met pas en jeu un *champ*, lorsqu'un *vecteur indexé* est utilisé simplement comme une structure de travail.

Deux fonctions seront utiles dans ce cas :

- la fonction qui retourne un *vecteur indexé* en ayant alloué ses tableaux à partir des dimensions des tableaux des positions et des valeurs, données en argument :

```
ecs_vec_int_t * ecs_vec_int__alloue(size_t pos_nbr,
                                   size_t val_nbr)
```

- la fonction qui détruit un *vecteur indexé* (en ayant préalablement dés-alloué les tableaux des positions et des valeurs) et qui retourne un pointeur NULL :

```
ecs_vec_int_t * ecs_vec_int__detruit(ecs_vec_int_t * this_vec_int)
```

---

### Exemple 7.8 Utilisation d'un *vecteur indexé* de travail

---

```
void ecs_vec_int__transforme_pos(ecs_vec_int_t          *const this_vec_int,
                               size_t                  nbr_elt_ref,
                               const ecs_tab_int_t      vect_transf)
{
    ecs_vec_int_t *vec_int_ref ;
    size_t        nbr_val_ref ;

    nbr_val_ref = ecs_vec_int__ret_val_nbr(this_vec_int) ;

    vec_int_ref = ecs_vec_int__alloue(nbr_elt_ref + 1,
                                     nbr_val_ref) ;

    /* Suite du corps de la fonction */

    ecs_vec_int__detruit(vec_int_ref) ;
}
```

---

De nombreuses fonctions de bas niveau permettent d'effectuer des transformations sur une structure *vecteur indexé* (tri, renumérotation, etc.). Les déclarations de ces fonctions sont rassemblées dans le fichier `ecs_vec_int.h` pour un *vecteur indexé entier* et dans le fichier `ecs_vec_real.h` pour un *vecteur indexé réel*.

## 8 Conventions et règles

### 8.1 Nommage

#### 8.1.1 Généralités

Les règles suivantes sont appliquées dans le Préprocesseur :

- le nom d’un identificateur comporte au plus 31 caractères (ANSI C) ;
- le nom d’un identificateur est en minuscules sauf le nom d’une macro ou d’une énumération qui est entièrement en majuscules ;
- un identificateur global a un nom préfixé par `ecs_` ou `ECS_` ;
- un identificateur local à un fichier a un nom préfixé par `ecs_loc_` ou `ECS_LOC_` :
  - le nom d’une fonction locale à un fichier (`static`) sera préfixé par `ecs_loc_` ;
  - le nom d’une énumération locale à un fichier sera préfixé par `ECS_LOC_` ;
  - le nom d’une macro locale à un fichier sera préfixé par `ECS_LOC_` ;
  - le nom d’une macro locale à une fonction sera préfixé par `ECS_FCT_` ;

#### 8.1.2 Nommage des énumérations

Dans la version 1.0, es énumérations étaient écrites sous la forme :

```
typedef enum { ECS_ENUMERATION_ENUMERATEUR1 ,
               ECS_ENUMERATION_ENUMERATEUR2 ,
               /* etc. */
             } ECS_ENUMERATION_E ;
```

On préfère maintenant utiliser la forme :

```
typedef enum { ECS_ENUMERATION_ENUMERATEUR1 ,
               ECS_ENUMERATION_ENUMERATEUR2 ,
               /* etc. */
             } ecs_enumeration_t ;
```

#### 8.1.3 Nommage des *classes*

La structure objet du Préprocesseur reposant aussi sur des conventions, on a donc déjà eu l’occasion d’exposer les conventions de nommage sur les *classes* : on se reportera aux sections 6.2, 6.3 et 7.2.

On reprend ici le cas d’une *classe* générique dont la structure C a pour nom `ecs-classe_t` (définie comme alias par `typedef` de `struct _ecs-classe_t`).

Les macros et les énumérations liées à la *classe* sont préfixées par `ECS_CLASSE_`.

Les fonctions implémentant les *méthodes* ont un nom de la forme :

```
ecs_[loc_]classe [_mot-clé]_xyz ()
```

où :

- `loc_` est présent s’il s’agit d’une fonction locale à un fichier ;
- « mot-clé » désigne, pour le sous-système Base :
  - soit une sous-*classe* ;
  - soit une classe associée ;

- soit un type de collection de la classe (chaîne ou arbre).

Les fichiers contenant ces fonctions sont de la forme :

`ecs_classe [_mot-clé].c`

Dans la section 6.3.6 on a donné les fichiers qui contiennent les fonctions de la structure `ecs_champ_t`.

Ci-dessous, on trouve deux exemples concernant la structure `ecs_descr_t` :

l'exemple 8.1 retranscrit le fichier `ecs_descr_publ.h` tandis que 8.2 donne l'exemple d'une fonction déclarée dans `ecs_descr_chaine.h`.

---

#### Exemple 8.1 Nommage pour un *descripteur* (1)

---

```

/*-----
 * Déclaration de la structure
 *-----*/

typedef struct _ecs_descr_t ecs_descr_t ;

/*-----
 * Définition d'énumération
 *-----*/

typedef enum { ECS_DESCR_TYP_COULEUR ,
               ECS_DESCR_TYP_GROUPE
             } ECS_DESCR_TYP_E ;

/*-----
 * Définition de macros
 *-----*/

#define ECS_DESCR_NUM_NUL -1
#define ECS_DESCR_IDE_NUL -1
#define ECS_DESCR_ENT_NUL -1

```

---



---

#### Exemple 8.2 Nommage pour un *descripteur* (2)

---

```

/*-----
 * Fonction qui recherche dans une liste chaînée de descripteurs
 * dont la tête est donnée,
 * un numéro de descripteur donné
 *
 * La fonction renvoie :
 * - le pointeur du descripteur si le numero de descripteur a ete trouve
 * - ou NULL sinon
 *-----*/

ecs_descr_t * ecs_descr_chaine__cherche_num
(
    ecs_descr_t *const descr_tete,
    ecs_int_t      num
) ;

```

---

## 8.2 Présentation des sources

### 8.2.1 Généralités

Le codage des sources du Préprocesseur respecte les conventions de présentation suivantes :

- pas d'indentation : 2 caractères ;
- longueur maximale des lignes : 80 caractères ;
- emploi systématique des minuscules pour les instructions et les identificateurs, sauf pour les identificateurs des macros et des énumérations qui sont entièrement en majuscules.

## 8.2.2 Présentation des fonctions

L'exemple 8.2 donne un exemple de présentation des fonctions dans le Préprocesseur.

## 8.3 Programmation

### 8.3.1 Langage

Le langage C est utilisé dans sa version ANSI 1989.

Afin de donner un certain confort à l'utilisateur du Préprocesseur, quelques extensions à la norme ANSI ont été introduites dans le code. Ces extensions ne sont intégrées que si des variables d'environnement ont été effectivement positionnées au moment de la compilation (cf. § 9.1.3, page 68). Autrement dit, il est toujours possible d'exclure ces extensions sans que le fonctionnement du Préprocesseur en soit perturbé.

Certains aspects douteux du langage C ont été conservés par la norme ANSI pour des raisons historiques de compatibilité avec les versions diffusées du langage avant normalisation. On pense surtout à la possibilité de définir une fonction sans en avoir préalablement défini un prototype (i.e. déclaré son interface). Ces aspects du langage (qui n'ont d'ailleurs pas été retenus en C++) ne seront pas utilisés dans le cadre du module Préprocesseur. Les versions récentes des compilateurs C préviennent généralement par un « warning » en cas d'utilisation de ces aspects du langage. La compilation en C++ du Préprocesseur permet de les repérer à coup sûr.

La compilation systématique sur différentes plates-formes (avec les options de compilation appropriées) et la compilation en C++, devrait garantir le respect de la norme ANSI, ainsi que l'absence d'utilisation d'aspects douteux du langage C.

### 8.3.2 Règles de programmation

Les règles de programmation utilisées dans le Préprocesseur sont classiques.

Citons quelques règles en vrac :

- chaque variable doit être initialisée avant d'être utilisée  
(les pointeurs seront systématiquement initialisés à NULL)
- l'usage des variables globales doit être évité en dehors des fonctions utilitaires de base de la librairie ou des chaînes de caractère statiques représentant les divers messages affichés.  
Si la création d'une variable globale à un fichier est justifiée, elle doit être déclarée `static`.  
De même, une variable globale à une fonction doit être déclarée `static`.
- un type `const` ne doit pas être converti en un type non-`const`
- chaque fois que la valeur d'une expression doit être testée parmi un ensemble de constantes, une construction `switch` doit être préférée à une construction `if ... else if ... else ...`
- les clauses `case` d'un `switch` doivent être des énumérateurs
- chaque `switch` doit avoir une clause `default`
- tous les paramètres des macros doivent être entourés de parenthèses
- les structures qui ne sont utilisées qu'à travers des pointeurs ne doivent pas être incluses dans les fichiers d'en-tête (« .h »)
- lorsqu'une fonction est définie dans un fichier source « .c », le fichier d'en-tête « .h » qui contient sa déclaration doit être inclus
- un fichier d'en-tête « .h » doit se suffire à lui-même
- un fichier d'en-tête « .h » doit avoir un mécanisme pour prévenir les inclusions multiples
- le type de retour d'une fonction doit toujours être indiqué
- chaque variable doit être déclarée séparément sur une ligne

- le type `int` sera toujours préféré au type `short`

Deux règles concernant les arguments des fonctions, n'ont pas toujours, à tort, été appliquées :

- l'attribut `const` sera utilisé si un pointeur ou une variable n'est pas modifié
- si un paramètre pointeur est utilisé en tant que tableau dans la fonction, le paramètre doit être déclaré avec des crochets

### 8.3.3 Assertions

Les assertions sont des conditions qui doivent toujours être remplies.

Elles servent :

- à la mise au point du programme ;
- à la vérification du programme ;
- à l'auto-documentation du programme.

Les assertions jouent un rôle important dans la mise en œuvre de la programmation par contrat.

Chaque fonction doit répondre à un contrat. Une fonction reçoit des paramètres en entrée qui doivent répondre à certaines contraintes, et doit effectuer les traitements attendus par la fonction appelante.

On peut donc définir trois types de conditions devant être remplies :

- pré-condition : condition devant toujours être remplie à l'entrée de la fonction ;
- post-condition : condition devant toujours être remplie à la fin d'une fonction ;
- invariant : condition devant toujours être remplie à n'importe quel endroit de la fonction.

Grâce aux assertions, le programme se teste de lui-même lors de son exécution !

Le C ANSI déclare une macro-instruction `assert()` permettant de vérifier si une condition est vraie. Si la condition n'est pas vérifiée, le programme est interrompu et un message d'erreur indique le fichier et la ligne où la macro `assert()` a été appelée. Le Préprocesseur fait un usage fréquent des assertions, en particulier pour vérifier les pré-conditions.

Si la macro `NDEBUG` est définie à la compilation, tous les `assert()` se réduisent à une instruction nulle. C'est le cas pour les options de compilation utilisées par défaut. Par conséquent, pour la version « principale » installée, l'utilisateur ne sera pas pénalisé par les tests d'assertion, mais il pourra en bénéficier en cas de problème avec une version « `DEBUG` ».

### 8.3.4 Constantes nommées

L'utilisation de constantes numériques nommées en lieu et place de constantes littérales rend les modifications des valeurs des constantes plus fiables et aisées. Elle facilite donc largement la maintenance ultérieure du programme, ainsi que son extension.

Leur définition en C prendra l'une des formes suivantes :

- constante énumérée, pour une constante appartenant à un ensemble de constantes liées sémantiquement et pouvant ainsi former une liste d'énumérations
- une macro du pré-processeur.

En particulier, les constantes nommées apparaîtront systématiquement dans les `case` des `switch`. Les constantes énumérées sont préférées, car elles apparaissent sous leur nom (et non valeur) sous un débogueur, et certains compilateurs (tels que GCC) peuvent afficher des messages d'avertissement lorsque certaines valeurs d'une constante énumérée ne sont pas traitées dans un `switch`.



### 8.3.5 Internationalisation

L'internationalisation des messages se fait au moyen du mécanisme de type `gettext()`. Les messages ont été passés en Anglais dans le code source, et la version Française est disponible via un catalogue de traductions `po/fr.po`. Ceci a l'avantage avec la version GNU de `gettext()` de fonctionner aussi bien avec un environnement Latin-1 (ou Latin-9 ou Latin-15) qu'avec une environnement « Unicode » de type UTF-8 (à condition que l'encodage utilisé par le terminal soit consistant avec la variable d'environnement `LANG`, soit en général `LANG=fr_FR` ou `LANG=fr_FR.UTF-8`).

On doit donc encapsuler les déclarations de chaînes de caractère immédiatement traduisibles dans une macro `_()` (correspondant à une abbréviation pour `gettext()` si ce mécanisme est disponible sur la machine cible, ou à une macro vide sinon). On encapsulera les chaînes dont la traduction ne peut se faire à l'initialisation (i.e. déclarées via des constantes) dans une macro `N_()` (macro vide permettant le repérage de ces chaînes par les outils de gestion des catalogues de traduction), en n'omettant pas d'encapsuler la variable résultante dans la macro `_()` lors de son utilisation.

Si une chaîne n'est pas traitée de la sorte ou que sa traduction n'est pas disponible, la chaîne non traduite sera utilisée. Les conséquences ne sont donc pas catastrophiques.

On notera qu'avec des chaînes de caractères de type UTF-8, les caractères accentués sont représentés sur plusieurs octets, alors que les caractères ASCII de base sont représentés sur un seul octet. La fonction `Cstrlen()` permet donc de connaître la taille d'un chaîne en octets, mais pas de dire combien de colonnes elle occupe pour l'affichage. On utilisera la fonction `ecs_print_padded_str()` pour imprimer une telle chaîne en la complétant automatiquement par le bon nombre de caractères blancs lorsqu'on souhaite occuper une largeur de colonne donnée.

### 8.3.6 Fonctions utilitaires

Aux fonctions de la librairie C standard, on préférera, quand elles existent, les fonctions (ou les macros) de la librairie BFT ou du Préprocesseur qui les encapsulent.

Ces fonctions ont l'avantage d'intégrer les tests de retour des fonctions de la librairie, en produisant les messages d'erreur appropriés en cas d'erreur.

Le tableau ci-dessous recense les principales fonctions de la librairie C standard qui ont une fonction utilitaire correspondante dans le Préprocesseur ou dans la librairie BFT. Cette librairie propose ou « améliore » (au sens de l'écriture d'un code scientifique) d'autres services, et dispose de sa propre documentation en ligne.

Fonction de la librairie C	Fichier en-tête système	Macro ou fonction utilitaire	Fichier Préprocesseur
<code>exit()</code>	<code>stdlib.h</code>	<code>ecs_exit()</code>	<code>ecs_exit.c</code>
<code>fopen()</code>	<code>stdio.h</code>	<code>bft_file_open()</code>	<code>bft_file.h</code>
<code>fclose()</code>	<code>stdio.h</code>	<code>bft_file_free()</code>	<code>bft_file.h</code>
<code>fprintf()</code>	<code>stdio.h</code>	<code>bft_printf()</code>	<code>bft_printf.h</code>
<code>malloc()</code>	<code>stdlib.h</code>	<code>BFT_MALLOC()</code>	<code>bft_mem.h</code>
<code>realloc()</code>	<code>stdlib.h</code>	<code>BFT_REALLOC()</code>	<code>bft_mem.h</code>
<code>free()</code>	<code>stdlib.h</code>	<code>BFT_FREE()</code>	<code>bft_mem.h</code>



## 9 Compilation et aide au débogage

### 9.1 Compilation

#### 9.1.1 Configuration pour la compilation

Le Préprocesseur utilise maintenant le système de configuration et de compilation GNU (Autoconf / Automake / Libtool), qui possède sa propre documentation.

Pour obtenir la liste des options de configuration disponible, dans le répertoire racine du Préprocesseur, il suffit de taper la commande : `./configure --help`.

La plupart des systèmes actuels disposent d'une commande `make` capable de gérer la compilation depuis un répertoire différent de celui des sources (support `VPATH`). Si c'est le cas sur le système utilisé, il est conseillé de configurer le Préprocesseur depuis un répertoire différent de son arborescence, afin de laisser celle-ci inchangée par rapport à la référence. Sinon, on peut toujours installer `gmake`, le `make` du système GNU (le standard sous Linux) pour disposer de cette fonctionnalité.

Par exemple, si l'arborescence du Préprocesseur se situe sous  
`/home/saturne/Enveloppe/ecs-1.3.2.src`  
les commandes suivantes permettront sa configuration en mode « debug » et son installation sous  
`/home/saturne/Enveloppe/ecs-1.3.2/arch/Linux` :

```
> cd /home/saturne/Enveloppe
> mkdir ecs_build
> cd ecs_build
> ../ecs-1.3.2.src/configure \
  --prefix=/home/saturne/Enveloppe/ecs-1.3.2/arch/Linux \
  --enable-debug
> make
> make install
> make clean
```

Les options de `./configure` les plus utiles pour le Préprocesseur sont les suivantes :

Option	Fonction
<code>--enable-debug</code>	compilation en mode « debug » plutôt qu'en mode optimisé
<code>--with-bft-prefix=&lt;chemin&gt;</code>	chemin d'installation de la librairie BFT (en général nécessaire si différent d'un chemin système)
<code>--with-hdf5-prefix=&lt;chemin&gt;</code> <code>--with-med-prefix=&lt;chemin&gt;</code> <code>--disable-med</code>	chemin d'installation des librairies HDF5 et MED  pas de support MED même si les librairies sont détectées
<code>--with-cgns-prefix=&lt;chemin&gt;</code> <code>--with-cgns-exec-prefix=&lt;chemin&gt;</code> <code>--disable-cgns</code>	chemin d'installation de la librairie CGNS chemin d'installation de la partie dépendante du système de la librairie CGNS (si différent du précédent) pas de support CGNS même si la librairie est détectée
<code>--with-metis-libdir=&lt;chemin&gt;</code> <code>--disable-metis</code>	chemin auquel se trouve la librairie METIS ( <code>libmetis.a</code> ) pas de support METIS même si la librairie est détectée

Si la version de `make` utilisée ne supporte pas la logique `VPATH`, alors on sera limité à la compilation depuis l'arborescence source (dans quel cas on pourra utiliser `make distclean` plutôt que `make clean` pour ramener le répertoire à l'état le plus proche possible de son état initial :

```
> cd /home/saturne/Enveloppe/ecs-1.3.0.src
> ./configure --prefix=/home/saturne/Enveloppe/ecs-1.3.0/arch/Linux \
--enable-debug
> make
> make install
> make distclean
```

Les plates-formes sur lesquelles le Préprocesseur est régulièrement compilé sont mentionnées dans le tableau ci-dessous.

Plate-forme	`uname -s`
SGI (Irix 6.5)	IRIX64
IBM Power 5 (Frontal Blue Gene/L)	Linux
Station Linux (Debian sarge)	Linux
Cluster AMD Opteron (Red Hat EL 4, Chatou, CCRT)	Linux
Cluster Itanium II (Bull Novascale, CCRT)	Linux
Alpha EV68 sous Tru64 Unix (HP Alphaserer, CCRT)	OSF1
SUN Sparc (Solaris 8)	SunOS

Le Préprocesseur a été utilisé régulièrement mais n'est plus maintenu sur les plateformes suivantes, qui ne sont plus utilisées ou disponibles :

Plate-forme	`uname -s`
HP 9000 (HP-UX 10.2, HP-UX 11)	HP-UX
PC Linux (Red Hat 7.2, Debian 2.2)	Linux
Cluster PC Linux MFEE (Red Hat 8.0)	Linux
Cluster PC Linux MFEE (Red Hat 7.2 avec)	Linux
Fujitsu VPP5000	UNIX_System_V

Finalement le *Code\_Saturne* a été compilé et testé à l'occasion sur de nombreuses architectures, dont :

- de nombreuses variantes de Linux sous PC (Red Hat 8.0, Fedora Core 4, SuSE 7.1 à 9.1, SUSE 9.2 à 10.2 Mandrake 9 et 10, etc.) avec diverses versions du compilateur GCC (2.95, 2.96, 3.1 à 3.4, 4.0.2 à 4.1.2) ;
- sur un machine SGI Altix (Linux avec patches SGI, processeur Intel Itanium II, compilateur Intel).

### 9.1.2 Options de compilation

Il est possible de choisir le compilateur C et l'éditeur de liens au moyen de la variable d'environnement CC, comme suit :

```
> ./configure --prefix=<chemin> CC=<compilateur>
```

De même, il est possible d'utiliser d'autres options de compilation et d'édition de liens que celles fournies par défaut, en renseignant les variables d'environnement CPPFLAGS (préprocesseur C), CFLAGS (compilation), et LDFLAGS (édition de liens) lors de l'appel à configure.

On peut aussi, au lieu de remplacer les options par défaut, les compléter, avec les variables d'environnement CPP\_ADD, CC\_ADD, LD\_ADD, et LIBS\_ADD.

### 9.1.3 Variables d'environnement dépendantes du système d'exploitation

Il existe des variables qui dépendent du système et qui sont positionnées automatiquement dans le fichier `ecs-config.h` généré par le script `configure` et inclus dans les sources.

On donne ci-dessous, le rôle joué par chacune de ces variables, lorsqu'elles sont définies :

Variable	Rôle
_POSIX_SOURCE	(Variable déclarée par la norme POSIX) Utilisation de fonctions POSIX
_XOPEN_SOURCE	(Variable déclarée par la norme X-OPEN) Utilisation de fonctions X-OPEN
_XOPEN_SOURCE_EXTENDED	(Variable déclarée par la norme X-OPEN2) Utilisation de fonctions X-OPEN2
HAVE_CGNS	permet l'utilisation de la librairie CGNS
HAVE_MED	permet l'utilisation de la librairie <i>MED</i>
HAVE_METIS	permet l'utilisation de la librairie <i>Metis</i>

## 9.2 Mémoire et chronométrie

### 9.2.1 Mémoire

Une fonctionnalité du Préprocesseur donne la possibilité de retranscrire l'état de la mémoire à chaque allocation ou libération d'un bloc mémoire. Ceci est utile surtout si l'on ne dispose pas d'un outil comme *Purify* ou *Valgrind*.

La retranscription est faite dans le fichier `ecs_memoire`.

Cette fonctionnalité est prise en compte dans le Préprocesseur chaque fois que la variable d'environnement `ECS_FIC_MEM` a été positionnée à l'exécution.

Cette fonctionnalité réalise automatiquement :

- pour chaque allocation :
  - l'impression sur fichier de la taille mémoire allouée ;
  - l'impression sur fichier du cumul de la mémoire allouée ;
  - le rajout d'un octet sentinelle à la fin du bloc alloué ;
- pour chaque libération :
  - l'impression sur fichier de la taille mémoire libérée ;
  - la vérification que la taille libérée pour le bloc correspond à celle qui a été allouée ;
  - la vérification que l'octet de fin d'allocation n'a pas été écrasé (ce qui permet de détecter les débordements de tableau en écriture)

### 9.2.2 Chronométrie

Une fonctionnalité offerte par le Préprocesseur permet de retranscrire sur fichier la consommation du temps nécessaire pour exécuter un traitement particulier.

La retranscription est faite dans le fichier `ecs_chrono`.

Cette fonctionnalité est prise en compte dans le Préprocesseur chaque fois que la variable d'environnement `ECS_FIC_CHRONO` est positionnée à l'exécution.

Pour connaître le temps nécessaire à l'exécution d'un traitement particulier, il suffit :

- d'inclure `ecs_chrono.h` dans le fichier qui réalise le traitement ;
- d'encadrer le traitement en question par 2 appels de la macro `ECS_CHRONO()`.

Cette macro, définie dans `ecs_chrono.h`, prend en argument une chaîne de caractères dont le but est d'apporter un intitulé devant le temps qui sera retranscrit dans le fichier `ecs_chrono`.

```
#include ecs_chrono.h

/* ... */

ECS_CHRONO("Debut du traitement") ;

/* Traitement */

ECS_CHRONO("Fin du traitement") ;

/* ... */
```

## 9.3 Impression de la structure Maillage

Le Préprocesseur offre la possibilité de retranscrire sur fichier le contenu d'une structure `ecs_maillage_t` ainsi que de toutes ses structures composantes.

La retranscription est faite par défaut dans le fichier

`ecs_impression.ascii`

chaque fois que la fonction

`ecs_maillage__imprime()`

est appelée (soit avant et après les principales étapes du traitement), à condition d'ajouter l'option documentée uniquement ici `-dump [n]` à la ligne de commande du Préprocesseur, où *n* indique que l'on imprime les *n* premiers et derniers éléments de chaque tableau (0 par défaut).

Cette fonction prend pour argument :

- la structure `ecs_maillage_t` à imprimer ;
- le nom du fichier où est faite l'impression ;
- un titre dont le rôle est de séparer différentes impressions de la structure `ecs_maillage_t` pour différents appels.

```
void ecs_maillage__imprime
(
    const ecs_maillage_t *const this_maillage ,
    const char            *const nom_fichier_dump ,
    const char            *const titre
)
```

Un exemple de fichier `ecs_impression.ascii` est donnée en annexe [A](#).

Ce fichier correspond au maillage surfacique plan représenté sur la page [48](#), sachant que les *sommets* ont une *couleur* 1 et les *faces* ont une *couleur* 7.

## 10 Perspectives de développement

Par rapport aux versions 1.0 à 1.2 de l'Enveloppe, qui assurait le post traitement des champs calculés par le Noyau,<sup>7</sup> et servait d'intermédiaire entre celui-ci et le code SYRTHES en cas de couplage,<sup>8</sup> le rôle de l'Enveloppe s'est considérablement réduit avec le version 1.3, les aspects post traitement et couplage étant maintenant directement gérés par le Noyau, en s'appuyant sur la librairie FVM (d'où le renommage de l'Enveloppe en Préprocesseur). Celle-ci peut être vue comme une réécriture progressive de l'Enveloppe, une sorte d'Enveloppe 2 encore incomplète mais plus puissante, fonctionnant complètement en mode parallèle distribué, ce qui permet notamment d'éviter le goulot d'étranglement mémoire représenté par le Préprocesseur actuel pour le traitement de très gros maillages.

On devrait pouvoir encore migrer certaines des fonctionnalités du Préprocesseur vers les Noyaux, et en appuyer d'autres (notamment l'écriture de données de post traitement) sur la librairie FVM dès que celle-ci offrira des services suffisamment complets (comme par exemple la gestion des familles dans l'écriture des maillages de post traitement). Ceci permettra donc de simplifier progressivement les structures et modèles du Préprocesseur, dont le remplacement complet par FVM nécessitera plusieurs années.

### 10.1 Améliorations du codage du Préprocesseur

On liste ci-dessous un certain nombre de points qui mériteraient d'être revus.

1. Certaines implémentations n'ayant pas de cas test permettant de les valider, ne peuvent pas être correctement maintenues ; elles seront ou sont déjà obsolètes. Le jour où elles devront devenir opérationnelles, elles devront de toute manière être reprises en profondeur. Actuellement elles surchargent inutilement le code et il faut se décider sur leur maintien ou leur suppression.  
Par exemple, Le membre `statut_e` de la structure `ecs_champ_t`, n'est pas complètement utilisé (cf. § 5.5.2, page 28 et § 6.3.6, page 43).
2. Redéfinir les noms des rubriques du fichier d'interface avec le Noyau.
3. La création de fonctions utilitaires sur les chaînes de caractères permettraient d'alléger le code.
4. La construction de fonctions regroupant certaines pré-conditions permettraient de limiter les appels aux assertions en début de fichier (par exemple, une fonction qui vérifie que le *maillage* est décrit en *connectivité descendante*).
5. L'affichage des nombres d'éléments par *entité de maillage* et par *couleur* et *groupe* devrait être réalisé à partir de la *connectivité descendante* (on pourrait ainsi avoir ces informations sur le *maillage* issu de la concaténation de 2 maillages).

### 10.2 Evolutions du code

On établit ici la liste des nouvelles évolutions à apporter, dans l'ordre de leur priorité à ce jour :

1. Utiliser les équivalences (et ultérieurement les joints) MED pour déclencher des recollements conformes automatiques (variante de la filiation).
2. modifier la représentation des cellules de type « polyèdre » en connectivité nodale : plutôt que de repérer les frontières entre faces dans la connectivité cellules sommets en considérant que le premier sommet d'une face apparaît une deuxième fois pour indiquer une fin de face, on pourrait utiliser une connectivité secondaire (un deuxième champ principal de type définition) indiquant pour chaque polyèdre le nombre de sommets associés à chacune de ses faces. Ce tableau indexé n'existerait qu'en présence de polyèdres en connectivité nodale. Cette approche aurait deux avantages :

<sup>7</sup>Y compris sur des coupes définies par ce dernier sous forme de listes de faces

<sup>8</sup>assurant la cohérence entre le Noyau parallèle et SYRTHES série, ainsi que le découpage des faces du maillage *Code\_Saturne* en triangles et la transfert des valeurs entre les centres et sommet des faces

- on pourrait construire un maillage nodal de type FVM en pointant sur les diverses zones de la définition principale principale de la connectivité, sans devoir dupliquer l'essentiel de la définition *faces*  $\rightarrow$  *sommets*, ce qui est important du point de vue consommation mémoire en cas de maillage polyédrique pur ; les connectivités *cellules*  $\rightarrow$  *faces* devraient être renseignées pour les sections polygonales, ainsi que l'index de la connectivité *faces*  $\rightarrow$  *sommets*, mais ne représentent pas l'essentiel du coût mémoire (par exemple, pour un polyèdre avec 12 faces de 5 sommets chacune, on a besoin de  $(1 + 12) + 12 = 25$  entiers pour ces tableaux, contre  $12 \times 5 = 60$  entiers pour la définition *faces*  $\rightarrow$  *sommets*).
  - on pourrait alors déterminer le type d'une cellule par sa seule connectivité nodale (4 sommets pour un tétraèdre, 5 pour une pyramide, 6 pour un prisme, 8 pour un hexaèdre, et un nombre quelconque avec renseignement des longueurs des faces pour un polyèdre), ce qui permettrait de supprimer le stockage du *type géométrique* en connectivité nodale aussi bien qu'en connectivité descendante.
3. Simplification de la structure globale. Il serait possible d'intégrer directement les fonctionnalités de type *vecteur indexé entier* et *vecteur indexé réel*, dans les structures `ecs_champ_t`, mais il faudrait dans ce cas réfléchir au problème du typage du champ. Un « cast » initial pour accéder aux tableau des valeurs n'est pas très pratique, il semble préférable soit de nommer différemment un tableau de valeurs entières d'un tableau de valeurs réelles, en groupant éventuellement de même les deux pointeurs correspondant dans une union anonyme afin de n'en permettre qu'un à la fois.
  4. Renommer `ecs_champ_t` en `ecs_table_t` (et **Champ** en **Table**), pour une meilleure cohérence avec le vocabulaire usuel.
  5. Adapter le recollement conforme de manière à travailler en connectivité « cellules par faces par sommets » plutôt que « cellules par faces par arêtes par sommets » après le recollement conforme. Ceci permettrait à la fois d'économiser de la mémoire et du temps de traitement et de simplifier légèrement le modèle de données.
  6. Parallélisation des algorithmes du Préprocesseur pour des architectures à mémoire distribuée. Ceci se traduit par une ré-écriture de ces algorithmes dans la librairie FVM.



EDF R&D	<b>Code_Saturne version 1.3.2 : manuel informatique du Préprocesseur</b>	Code_Saturne documentation Page 73/78
---------	--	---

- [1] Y. FOURNIER  
*Code\_Saturne version 1.1 : guide pratique et théorique du module Enveloppe,*  
Rapport EDF HI-83/03/007/A, 2003
- [2] D. POIZAT, Y. FOURNIER  
*Enveloppe du Code\_Saturne : description de la version 1.0,*  
Rapport EDF HI-83/01/013/A, 2001
- [3] BOUCKER M., ARCHAMBEAU F., MÉCHITOUA N.,  
*Quelques éléments concernant la structure informatique du Solveur Commun - Version 1.0\_init0,*  
Compte-rendu express EDF I81-00-8, 2000.
- [4] Y. FOURNIER  
*Définition du module Enveloppe pour le Solveur Commun,*  
Rapport EDF HE-41/99/017/A, 1999
- [5] MÉCHITOUA N., ARCHAMBEAU F.,  
*Prototype de solveur volumes finis co-localisé sur maillage non-structuré pour les équations de Navier-Stokes 3D incompressibles et dilatables avec turbulence et scalaire passif,*  
Rapport EDF HE-41/98/010/B, 1998.

EDF R&D	<i>Code_Saturne</i> version 1.3.2 : <b>manuel informatique du Préprocesseur</b>	<i>Code_Saturne</i> documentation Page 74/78
---------	--	--

# Annexes

## A Fichier impression de la structure maillage et de ses structures composantes

Après lecture du fichier de maillage ecs\_impression.unv

```

dim_e                                     3
CONNECT_ARE_SOM & NULL
CONNECT_FAC_SOM & 0x81d2aa0
    entmail                               0x81d2988
    entmail_inf                           0x81d28e0
    connect_nat_e                           0
CONNECT_FAC_ARE & NULL
CONNECT_CEL_SOM & NULL
CONNECT_CEL_FAC & NULL
ENTMAIL_SOM & 0x81d28e0
    ECS_CHAMP_DEF & 0x81d28f8
    champ & 0x81d28f8
        nom                               definition
        typ_val                           5
        nbr_elt                           7
        pos_pas                           3
        pos_tab & NULL
        val_tab & 0x40390008
            1 [1] 0.00000E+00
                0.00000E+00
                0.00000E+00
            2 [4] 1.00000E+00
                0.00000E+00
                0.00000E+00
            3 [7] 0.00000E+00
                5.00000E-01
                0.00000E+00
            4 [10] 1.00000E+00
                5.00000E-01
                0.00000E+00
            5 [13] 0.00000E+00
                1.00000E+00
                0.00000E+00
            6 [16] 1.00000E+00
                1.00000E+00
                0.00000E+00
            7 [19] 2.00000E+00
                5.00000E-01
                0.00000E+00
        descr_tete
        l_champ_sui
        statut_e
        ECS_CHAMP_TYP & NULL
        ECS_CHAMP_ATT & NULL
        ECS_CHAMP_GRA & NULL
ENTMAIL_ARE & NULL
ENTMAIL_FAC & 0x81d2988
    ECS_CHAMP_DEF & 0x81d29a0
    champ & 0x81d29a0
        nom                               definition
        typ_val                           2
        nbr_elt                           4
        pos_pas                           0
        pos_tab & 0x81d2d00
        val_tab & 0x81d3ca8
            1 1 1
                2
                4
                3
            2 5 2
                7
                4
            3 8 3
                4
                6
                5
            4 12 4
                7
                6
        descr_tete
        l_champ_sui
        statut_e
        ECS_CHAMP_TYP & 0x81d29d8
        champ & 0x81d29d8
        nom                               type geometrique
        typ_val                           2
        nbr_elt                           4
        pos_pas                           1
        pos_tab & NULL
        val_tab & 0x81db9b0
            1 4
            2 3
            3 4

```

```

                                4          3
                                descr_tete  NULL
                                l_champ_sui  NULL
                                statut_e    1
ECS_CHAMP_ATT & 0x81d2a68
champ & 0x81d2b28
                                nom          groupe
                                typ_val      2
                                nbr_elt      4
                                pos_pas      0
                                pos_tab & 0x81d2b50
                                val_tab & 0x81d2b68
                                1          1          1
                                2          2
                                3          2          1
                                4          3
                                3
                                descr_tete  0x81d2b00
                                descr & 0x81d2b00
                                numero      1
                                type        1
                                ide         -1
                                nom         QUAD
                                l_descr_sui NULL
                                l_champ_sui NULL
                                statut_e    1
champ & 0x81d2a68
                                nom          couleur
                                typ_val      2
                                nbr_elt      4
                                pos_pas      1
                                pos_tab & NULL
                                val_tab & 0x81dd900
                                1          1
                                2          1
                                3          1
                                4          1
                                1
                                descr_tete  0x81d2a50
                                descr & 0x81d2a50
                                numero      1
                                type        0
                                ide         1
                                nom         NULL
                                l_descr_sui NULL
                                l_champ_sui 0x81d2b28
                                statut_e    1
                                ECS_CHAMP_GRA & NULL
ENTMAIL_CEL & NULL
FAMILLE_SOM & NULL
FAMILLE_ARE & NULL
FAMILLE_FAC & NULL
FAMILLE_CEL & NULL

Connectivite descendante

dim_e          3
CONNECT_ARE_SOM & 0x81de8a8
entmail        0x81d2728
entmail_inf    0x81d28e0
connect_nat_e  0
CONNECT_FAC_SOM & NULL
CONNECT_FAC_ARE & 0x81d2a40
entmail        0x81d2988
entmail_inf    0x81d2728
connect_nat_e  0
CONNECT_CEL_SOM & NULL
CONNECT_CEL_FAC & NULL
ENTMAIL_SOM & 0x81d28e0
ECS_CHAMP_DEF & 0x81d28f8
champ & 0x81d28f8
nom          definition
typ_val      5
nbr_elt      7
pos_pas      3
pos_tab & NULL
val_tab & 0x40390008
1 [1] 0.00000E+00
0.00000E+00
0.00000E+00
2 [4] 1.00000E+00
0.00000E+00
0.00000E+00
3 [7] 0.00000E+00
5.00000E-01
0.00000E+00
4 [10] 1.00000E+00
5.00000E-01
0.00000E+00
5 [13] 0.00000E+00
1.00000E+00
0.00000E+00
6 [16] 1.00000E+00
1.00000E+00

```

			7	[19]	0.00000E+00 2.00000E+00 5.00000E-01 0.00000E+00
					NULL
					NULL
					1
	ECS_CHAMP_TYP	& NULL			
	ECS_CHAMP_ATT	& NULL			
	ECS_CHAMP_GRA	& NULL			
ENTMAIL_ARE	& 0x81d2728				
	ECS_CHAMP_DEF	& 0x81d2920			
	champ	& 0x81d2920			
		nom			definition
		typ_val			2
		nbr_elt			10
		pos_pas			2
		pos_tab	& NULL		
		val_tab	& 0x81d2b90		
			1	[1]	2
					7
			2	[3]	7
					4
			3	[5]	4
					2
			4	[7]	7
					6
			5	[9]	6
					4
			6	[11]	3
					4
			7	[13]	6
					5
			8	[15]	5
					3
			9	[17]	1
					2
			10	[19]	3
					1
					NULL
					NULL
					-1
	ECS_CHAMP_TYP	& NULL			
	ECS_CHAMP_ATT	& NULL			
	ECS_CHAMP_GRA	& NULL			
ENTMAIL_FAC	& 0x81d2988				
	ECS_CHAMP_DEF	& 0x81d29a0			
	champ	& 0x81d29a0			
		nom			definition
		typ_val			2
		nbr_elt			4
		pos_pas			0
		pos_tab	& 0x81db9b0		
		val_tab	& 0x81d2c08		
			1	1	1
					2
					3
			2	4	-2
					4
			3	7	5
					6
					-5
					7
					8
			4	11	9
					-3
					-6
					10
				15	
					NULL
					NULL
					1
	ECS_CHAMP_TYP	& NULL			
	ECS_CHAMP_ATT	& 0x81d2a68			
	champ	& 0x81d2b28			
		nom			groupe
		typ_val			2
		nbr_elt			4
		pos_pas			0
		pos_tab	& 0x81d2b50		
		val_tab	& 0x81d2b68		
			1	1	
			2	1	
			3	1	1
			4	2	1
				3	
					0x81d2b00
		descr_tete			
		descr	& 0x81d2b00		
		numero			1
		type			1
		ide			-1
		nom			QUAD
					NULL
					NULL
		l_champ_sui			

```

statut_e 1
champ & 0x81d2a68
nom couleur
typ_val 2
nbr_elt 4
pos_pas 1
pos_tab & NULL
val_tab & 0x81dd900
1 1
2 1
3 1
4 1
descr_tete 0x81d2a50
descr & 0x81d2a50
numero 1
type 0
ide 1
nom NULL
l_descr_sui NULL
l_champ_sui 0x81d2b28
statut_e 1
ECS_CHAMP_GRA & NULL
ENTMAIL_CEL & NULL
FAMILLE_SOM & NULL
FAMILLE_ARE & NULL
FAMILLE_FAC & NULL
FAMILLE_CEL & NULL
```