Description des entités de traitement d'images pour la conception interactive d'applications

Alexandre NOUVEL, Patrice DALLE
IRIT
Université Paul Sabatier
118 route de Narbonne
31062 Toulouse Cedex 4

{nouvel, dalle}@irit.fr

RÉSUMÉ

La réalisation interactive d'une application de traitement d'images, c'est-à-dire la configuration d'un enchaînement d'opérateurs s'effectue généralement par des cycles "essai-erreur" : choix, paramétrage et exécution d'un opérateur, évaluation de ses effets, puis ajustement ou correction. Cette approche par opérateurs a ses limites. Elle ne permet pas à l'utilisateur de raisonner en termes de concepts de son domaine d'application et de se placer dans une logique d'interprétation, en tentant d'associer les résultats des enchaînements d'opérateurs à des concepts du modèle de la scène : les opérateurs font référence au traitement d'images, et non aux concepts du domaine d'application.

Pour construire un environnement interactif dans lequel l'utilisateur pourra raisonner en termes de son domaine d'application et produire incrémentalement une chaîne d'opérateurs sans les sélectionner explicitement, il est nécessaire d'identifier les entités du traitement d'images que l'utilisateur et le système doivent pouvoir manipuler.

Nous présentons ces entités et un ensemble de descripteurs permettant de les caractériser. Nous proposons une manière d'exploiter un modèle d'opérateurs décrivant les mesures et les transformations sur les données. Cette exploitation a pour objectif de masquer les fonctionnalités du traitement d'images lors de la manipulation interactive des entités par l'utilisateur, tout en produisant incrémentalement —grâce aux informations fournies par l'utilisateur sur les caractéristiques des entités recherchées— une chaîne d'opérateurs produisant les entités demandées.

Nous développons actuellement un environnement interactif permettant de présenter et de manipuler des entités produites et permettant également de spécifier des entités à extraire des données, pour construire de manière incrémentale une chaîne d'opérateurs.

MOTS CLÉS

Conception d'application, traitement d'images, entités, descripteurs, interaction.

1. INTRODUCTION : CADRE DE L'ÉTUDE

Des recherches sont menées actuellement dans le but d'aider à la conception d'applications de Traitement d'Image (TI). Des environnements de conception d'applications de TI se présentent sous la forme de systèmes de pilotage (Ocapi [MOI95]) ou de planification (Borg [CLO98]) de bibliothèques d'opérateurs de TI.

Il est possible de réaliser une application de manière incrémentale et interactive, sans passer par des systèmes aussi complexes, mais par essai d'opérateurs de TI, évaluation des résultats et correction si nécessaire. On peut utiliser pour cela des environnements interactifs de TI dans lesquels l'utilisateur peut accéder aux opérateurs par des menus déroulants, les paramétrer interactivement puis les faire s'exécuter. De tels environnements permettent d'enregistrer l'enchaînement des opérateurs utilisés sous forme de scripts et permettent parfois d'introduire des structures de contrôle dans ces scripts (Khoros [RAS90], Sage [DEE96]).

Sans chercher à automatiser ce processus de conception, nous proposons une autre forme de démarche, permettant à l'utilisateur de raisonner en terme d'entités du TI (pixels, régions…), d'effets d'opérateurs, d'information et de concepts (zones claires, région allongée traversant l'image…), plutôt qu'en termes de fonctionnalités, d'opérateurs ou de traitements. Cette approche lui permet de rester dans son domaine d'application, notamment par la définition de concepts basés sur des entités. L'objectif est donc de mettre l'accent sur la mise en relation des effets des opérateurs (production, modification d'entités) avec des concepts du modèle de la scène, en permettant à l'utilisateur de spécifier par des interactions les indices visuels caractéristiques des concepts recherchés. C'est le système qui sélectionnera et qui exécutera les opérateurs correspondants.

Nous décrivons dans cet article les entités du TI que l'utilisateur et le système manipulent : les pixels, les groupes de pixels, et des ensembles de groupes de pixels (§ 3). Un descripteur (§ 4) dénote une caractéristique d'une entité. Nous proposons une exploitation d'un modèle des opérateurs (§ 5) permettant, à partir d'une entité, de fournir à l'utilisateur des interactions (§ 6) en vue de manipuler ces entités ou d'en décrire de nouvelles.

2. ÉTAT DE L'ART

En ce qui concerne la conception interactive d'applications de TI, assez peu de travaux sont directement reliés à la formalisation des données, tant du point de vue de leur représentation que des transformations que ces données subissent. Pour ce qui est de la conception proprement dite d'applications, plusieurs pistes sont explorées. Parmi celles qui se sont orientées vers la conception interactive, nous ne considérerons ici que celles qui font appel à une manipulation directe par les données plutôt que par les opérateurs.

2.1. Formalisme pour les entités de TI

Le formalisme proposé par Ph. Dejean [DEJ96c] à la suite des travaux de modélisation du TI menés par J.-M. Inglebert [ING92] fournit une description orientée concepts et entités du TI, dans une perspective de planification de chaînes d'opérateurs et de description d'objectifs de TI. Ce formalisme propose d'abord un modèle unifié des données de TI [DEJ96a]. Le Langage de Description de Données (LDD) permet de décrire dans leur structure les données du TI. Il utilise les catégories syntaxiques du Langage de Description de Concepts (LDC) pour définir cinq catégories syntaxiques correspondant aux cinq champs du modèle de données. Ce modèle permet de décrire précisément les caractéristiques des données (en termes de transformations subies ou en termes de spécification de transformations à faire subir aux données). Les concepts décrivant les champs d'une donnée sont basés sur des descripteurs de mesure et des domaines de valeurs spécifiés pour ces mesures.

Le modèle d'opérateurs associé a pour but de faire apparaître les transformations que la donnée subit et fournit des informations sur les types d'entités admises en entrée et en sortie. À partir de la représentation unifiée des données, un opérateur est représenté en indiquant comment cinq opérations (nomination, spécialisation, généralisation, structuration et déstructuration) sont réalisées sur les différents champs de la donnée et leur champs complémentaires. Un ensemble de fonctions de transformation élémentaires applicables sur ces champs a été défini à cet effet. Les transformations font intervenir des descripteurs pour expliciter la manière dont l'opérateur mesure et détermine une partition de la donnée lors du traitement.

Lorsqu'une entité a été produite ou modifiée par un opérateur, il est alors possible de décrire comment les transformations élémentaires données par le modèle de l'opérateur ont modifié les champs de cette donnée. Nous exploitons cette information dans notre système interactif pour proposer à l'utilisateur des moyens d'intervention pertinents sur les données et pour traduire ces interactions en termes de traitements.

2.2. Systèmes interactifs

V. Ficet a présenté dans [FIC96] une manière de construire interactivement un modèle conceptuel d'applications de TI. Les différents niveaux d'abstraction des fonctionnalités du TI qui y sont modélisés donnent à l'utilisateur un moyen d'appréhender le TI à un niveau plus explicite et mieux adapté à ses compétences (lorsqu'il n'est pas un expert du TI). L'utilisateur construit ici un plan, en étant aidé par le système pour se diriger dans la hiérarchie des buts, mais il ne manipule pas directement des entités issues des données.

Dans le système SATI [CAP95], l'accent est mis sur la formulation interactive d'objectifs de TI par la manipulation directe d'instances de résultats. L'exploitation des objectifs de TI formulés consiste à planifier une chaîne d'opérateurs qui réalisent ces objectifs. Les objets manipulés sont décrits en tant qu'entités du TI, et ce travail met en lumière la structuration de ces entités. Il décrit également de façon partielle les manipulations et les interactions possibles sur ces entités, en évoquant certains descripteurs.

3. ENTITÉS DU TI

Les entités de base du TI sont des pixels, des regroupements de pixels possédant des propriétés communes (par exemple : couleur, texture), et enfin des éléments de plus haut niveau, qui sont des compositions des éléments précédents. Chacune de ces entités se définit pour l'utilisateur par des critères visuels ou sémantiques. Pour le système, il s'agit d'objets définis par la manière de les produire à partir d'autres entités présentes dans les données disponibles et de mesures effectuées sur ces données.

pixel	Définition pour l'utilisateur	Définition pour le système
Pixel	Site + effet visuel de la valeur (niveau de gris, couleur…)	Site + valeur fournie par l'acquisition
Edgel	Pixel appartenant à une frontière	Pixel vérifiant une propriété de transition (selon un modèle de contour, la présence de régions différentes...)
point de **J**onction	Intersection de frontières ou de transitions Indice de recouvrement d'objets 3D	Intersection de frontières ou de transitions, pixels vérifiant une propriété de jonction (par réponse à un détecteur de jonctions)

Table 3.1. - Entités de type "pixel".

{pixels}	Définition pour l'utilisateur	Définition pour le système
Classe	Ensemble de pixels ayant une propriété d'aspect commune	Ensemble de pixels appartenant à une même classe selon une mesure faite sur chaque pixel
Transition	Ensemble d'edgels connexes, zone de changement d'aspect	Ensemble d'edgels connexes
Frontière	Ensemble de pixels connexes séparant localement au moins deux régions (une frontière est toujours fermée)	Ensemble de transitions connexes vérifiant une même propriété (par exemple : séparation locale de régions ou contour d'une région)
Région	Ensemble de pixels connexes ayant une propriété commune	Ensemble de pixels connexes appartenant à une même classe ou ayant la même apparence

Table 3.2. - Entités de type "{pixels}".

{ {pixels} }	Définition pour l'utilisateur	Définition pour le système
	Ensemble de groupes de pixels ayant des caractéristiques communes ou entretenant des relations particulières (composition)	Ensemble de groupes de pixels ayant des caractéristiques communes ou obtenu par composition ou subdivision de régions

Table 3.3. - Entités de type "{ {pixels} }".

Les modes de passage d'un niveau de structuration d'entités à un autre, en fonction des transformations apportées par les opérateurs de TI sur les données, sont donnés dans la figure 3.1. Les lignes de cette figure représentent les différents niveaux de structuration d'entités, une opération (généralisation, spécialisation, structuration, déstructuration) s'applique à une entité d'un niveau (point de départ "•") et son résultat est une entité dont le niveau de structuration est désigné par les flèches. Dans le cas de la généralisation, deux niveaux de structuration d'entités peuvent être concernés simultanément, car cette opération est susceptible de généraliser une entité d'un certain niveau pour en produire une autre du même niveau, en y agglomérant par exemple des entités du niveau inférieur. Un exemple d'opération de ce genre serait une généralisation d'une définition de régions existantes, par agglomération de pixels, ce qui produit de nouvelles régions.

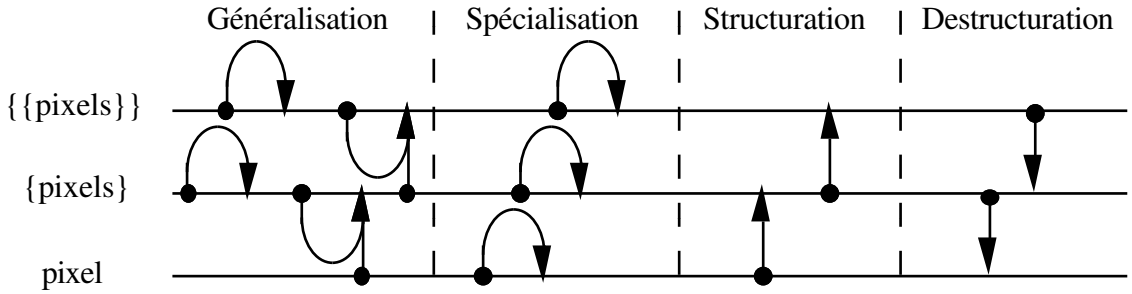

Figure 3.1. - Transitions entre niveaux de structuration des entités.

Toute donnée contient donc un ensemble d'entités d'un certain niveau de structuration, qui en constituent un sous-ensemble, voire une partition. Toutes les entités d'une même donnée sont du même type.

4. DESCRIPTEURS DES ENTITÉS

Les indices visuels, au sens où les a défini [ING92], sont des éléments d'une image (régions, portions de contours, configurations de pixels) possédant des caractéristiques particulières (position, forme, aspect, etc.). Ces éléments d'image permettent à l'utilisateur d'identifier ou de détecter des objets de son domaine et de guider la construction d'une description de la scène, ou l'interprétation de cette scène. Ils sont indiqués au système en utilisant des descripteurs des caractéristiques des entités. Autrement dit, un descripteur permet de rendre compte d'une caractéristique d'une entité. L'association d'un descripteur avec une valeur constitue une propriété.

Dans certains cas, pour caractériser une entité, il ne suffit pas d'un descripteur mais d'un qualificateur de descripteur (« le plus grand… »), voire d'une combinaison de descripteurs de relation entre deux ou plusieurs entités (« …alignés » peut se traduire par « …dont toutes les directions définies par les couples de centres de gravité {objet 1, objet n} sont identiques (à π et à ε près) »). Nous indiquons dans le § 5 comment nous exploitons ces descripteurs.

Nous tentons de relier les descripteurs, au moins de manière partielle, par des relations de généralisation (par exemple, la largeur est une plus petite dimension selon une direction précise) ainsi que par des relations de dépendance (par exemple, la surface et le périmètre varient ensemble, à forme égale). Ceci permet d'organiser la présentation des descripteurs à l'utilisateur en vue d'un choix par ce dernier. Le travail entrepris dans [CRO97] pour décrire les relations entre les mesures et celui de recensement des sélecteurs du LDC de [DEJ96b] nous permet d'avancer dans cette voie, en proposant la classification des descripteurs donnée dans la table 4.1. Dans cette table nous indiquons de plus les types d'entités pour lesquels un descripteur est pertinent. Les pixels y sont sous-catégorisés en pixels (P), edgels (E) et points de jonction (J) ; les groupes de pixels y sont sous-catégorisés en classes (C), transitions (T), frontières (F) et régions (R).

Descripteurs	pixel			{pixels}				{ {pixels} }
	P	E	J	C	T	F	R	
Position								
du centre géodésique					x	x	x	
du centre de gravité	x	x	x	x	x	x	x	x
du centre d'une forme englobante				x	x	x	x	x
des bords d'une forme englobante				x	x	x	x	x
de la projection de l'entité selon une direction	x	x	x	x	x	x	x	x
Occupation spatiale								
surface				x			x	x
longueur, largeur				x	x	x	x	x
dispersion, densité				x				x
périmètre				x			x	x
plus grande/petite dimension (selon une direction, ou absolue) : diamètre de Feret				x			x	x

Forme								
contours de l'entité				x			x	x
rugosité (longueur du contour/contour englobant)					x	x	x	x
moment d'ordre 3 (dissymétrie)						x	x	x
moment d'ordre 4 (allongement/aplatissement)							x	
ressemblance à une forme donnée					x	x	x	
nombre de concavités						x	x	x
nombre d'angles					x	x	x	x
longueur géodésique de la plus grande concavité						x	x	x
topologie (nombre de trous, nombre d'angles)					x	x	x	x
Orientation								
direction de la plus grande dimension					x	x	x	x
moment d'ordre 2 (inertie)					x	x	x	x
Aspect								
niveau de gris	x	x	x	x	x	x	x	x
signature de couleur	x	x	x	x	x	x	x	x
signature de texture	x						x	x

Table 4.1. - Descripteurs.

Il est à noter que les descripteurs présentés dans la table 4.1. ne sont pas tous implémentés pour les entités auxquelles ils s'appliquent. D'autre part cette liste n'est pas exhaustive et de nouveaux descripteurs peuvent la compléter.

5. INTERACTIONS SUR LES ENTITÉS

Pour définir une nouvelle entité à extraire d'une donnée, définir un nouveau concept ou modifier une valeur dans la description d'un concept, l'utilisateur interagit avec le système, qui lui présente à cet effet un espace d'interaction comportant plusieurs zones :

- la donnée, où sont accessibles les entités déjà extraites ;
- un sélecteur du niveau de structuration d'entité dont l'utilisateur veut parler ou qu'il veut manipuler ;
- une représentation de l'espace des concepts déjà définis, dans lequel il est possible de sélectionner les concepts ;
- un ensemble d'outils permettant à l'utilisateur de spécifier une action à effectuer sur un concept : décrire une nouvelle propriété en choisissant un descripteur et en lui affectant une valeur, corriger, optimiser, spécialiser, généraliser, contextualiser une valeur associée à un descripteur.

À une étape donnée, l'utilisateur part d'une donnée —pour laquelle il connaît le niveau de structuration des entités qu'elle contient— pour se voir proposer par le système des interactions pour qualifier des actions de type structuration/déstructuration, spécialisation par qualification, composition, mesure sur une entité, ou caractérisation d'une entité existante pour en faire un concept.

Pour proposer un opérateur d'après des interactions de l'utilisateur sur une entité, plusieurs étapes sont nécessaires. À partir d'une donnée initiale dont les entités sont d'un certain niveau de structuration (ou d'une entité spécifiquement désignée par l'utilisateur dans une donnée) une première étape consiste à lister les propriétés qui permettent de caractériser la ou les entités sélectionnées, ou de produire de nouvelles entités (§ 5.1). Une deuxième étape exploite les descripteurs de ces propriétés et des couples action-information pour proposer des interactions à l'utilisateur (§ 5.2). Enfin, une dernière étape a pour but de mettre en œuvre un opérateur suite à l'interaction de l'utilisateur (§5.3). Nous illustrerons ces étapes successives en traitant progressivement un exemple.

5.1. De l'entité aux propriétés

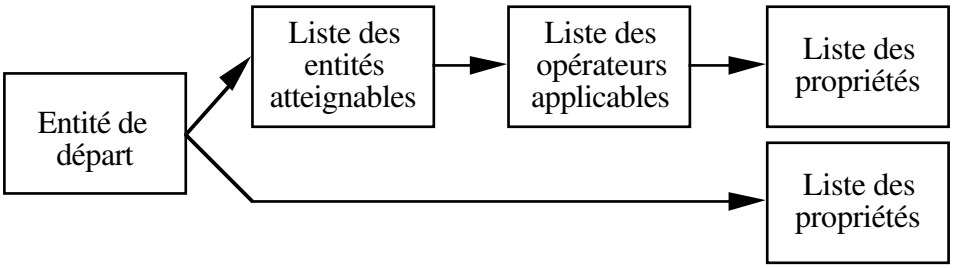

Figure 5.1.1. - Liaison entre entité et propriétés.

Dans la première phase, à partir d'un niveau de structuration d'entité sélectionné par l'utilisateur —par exemple, une donnée composée de pixels uniquement—, le système exploite le modèle de transition entre les niveaux de structuration des entités (*cf.* figure 3.1) pour produire une liste des entités atteignables. L'utilisateur peut sélectionner dans cette liste un type d'entité qu'il veut obtenir. Pour poursuivre l'exemple, le système présente les types "pixel" et "{pixels}", et l'utilisateur sélectionne "{pixels}".

Le modèle d'opérateurs comportant des informations sur les types d'entités autorisés en entrée et fournis en sortie, le système peut établir une liste d'opérateurs applicables. Dans l'exemple choisi (et pour une bibliothèque d'opérateurs donnée), ce seront les opérateurs de seuillage (binarisation), d'hystérésis, de classification et de segmentation. Le modèle d'opérateurs fournit d'autre part les propriétés que ces opérateurs manipulent via les opérations de transformation qu'ils implémentent. Ceci permet de construire une liste de propriétés sur lesquelles l'utilisateur pourra intervenir —ici, la signature de texture, la signature de couleur, le niveau de gris, la différence de niveaux de gris—.

Dans le cas où l'utilisateur ne sélectionne pas de type d'entité à atteindre, le système sélectionne les descripteurs propres à l'entité de départ en utilisant les informations présentées dans la table 4.1. Dans notre exemple à partir du niveau de structuration "pixel", les descripteurs sélectionnés par le système seront le niveau de gris, la signature de couleur et la signature de texture.

5.2. Des propriétés aux interactions

D'après la liste de descripteurs obtenue, le système va proposer à l'utilisateur de manipuler les domaines de valeurs associées à ces descripteurs de façon interactive. Pour cela, nous allons d'abord préciser quelles actions sont possibles sur les informations (à savoir les valeurs et les domaines de valeurs), puis nous intéresser à l'exploitation des couples action-information pour produire des interactions.

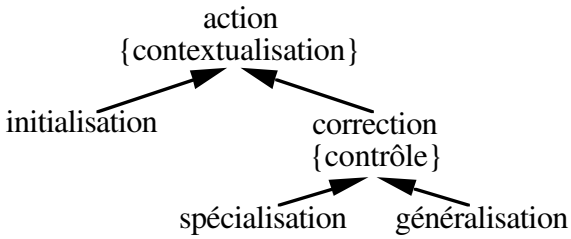

Figure 5.1.2. - Les actions (les flèches indiquent une relation de type « est un »).

[CAP95] définit les actions possibles pour définir une information associée à un descripteur (construction de propriétés). Nous tentons de donner ici un cadre plus précis à la notion d'action sur des informations, en proposant une structuration et des attributs d'action.

L'initialisation est par définition l'action qui consiste à effectuer le premier choix d'une valeur par l'utilisateur. Elle peut se baser sur tout type de valeur source (valeur brute saisie au clavier, valeur issue d'une mesure sur une entité…). Une action est implicitement définie comme une initialisation si elle est déclenchée par le choix d'un nouveau descripteur sur une entité par l'utilisateur.

Une correction est une modification de valeur (une optimisation est une correction comportant du contrôle pour tendre vers un résultat attendu). De la même manière que pour l'initiali-

sation, la correction est une manipulation implicite par sa définition (on ne peut corriger qu'une valeur déjà définie). Spécialisation et généralisation sont des modifications dont la nature est explicitée par l'utilisateur.

La contextualisation est un attribut implicite d'une action : une action est une contextualisation à partir du moment où l'utilisateur définit une valeur par rapport à une entité ou un concept existant. Le contrôle est un attribut d'une correction qui nécessite d'être explicité par l'utilisateur (« corriger pour… », « corriger jusqu'à… »). Pour préserver l'interactivité par l'outil (par opposition à une interactivité par un système de dialogue) nous étudions les moyens de rendre cette intention de contrôle explicite dans le cours de l'interaction, en recherchant des interacteurs qui déduisent l'intention de l'utilisateur d'après sa manière de modifier la valeur. Les attributs sont ici vus au sens "objet", ils sont donc hérités par les actions des niveaux inférieurs. Ils sont représentés entre accolades dans la figure 5.1.2.

Le système dispose donc à ce stade d'une liste de descripteurs permettant de caractériser soit l'entité que l'utilisateur a sélectionnée (entité de départ) soit les descripteurs utilisés par les opérateurs applicables à cette entité de départ pour produire le type d'entité que l'utilisateur désire obtenir. Ces descripteurs sont liés aux primitives à détecter ou aux effets à produire sur la donnée par les opérateurs qui y sont applicables :

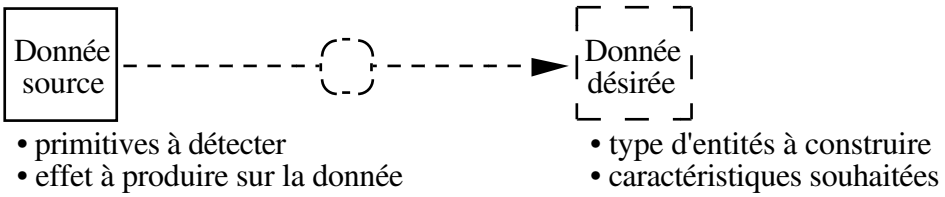

Figure 5.2.2. - Ce que l'utilisateur peut vouloir décrire.

La figure 5.2.2 fait aussi apparaître, au niveau de la donnée désirée, des caractéristiques que l'utilisateur pourrait souhaiter préciser ; ces caractéristiques seront utilisées dans une version plus avancée de notre système, et permettront à l'utilisateur de poser des contraintes sur le résultat attendu. En réalité, il est déjà possible d'exploiter le descripteur utilisé par un opérateur pour exprimer le fait que c'est sur ce descripteur que les entités de départ doivent être traitées, mais aussi pour exprimer une contrainte sur le résultat souhaité selon ce même descripteur.

Chacun des descripteurs de la liste dont dispose le système est associé à une valeur ou à un domaine de valeurs sur lequel l'utilisateur va devoir agir. En poursuivant notre exemple initial, dans lequel l'utilisateur a spécifié un niveau de structuration "{pixels}" pour les entités qu'il veut décrire, le système affiche la liste des descripteurs utilisables dans ce cas —à savoir, la différence de niveau de gris locale, le niveau de gris, la signature de couleur et la signature de texture—. L'utilisateur peut ainsi indiquer selon laquelle de ces caractéristiques il désire que des classes qu'il recherche soient produites.

Dans cette étape, nous nous appuyons sur les couples action-information définis par [CAP95] pour associer une série d'interacteurs (ou modes de présentation et de saisie) à chaque valeur attachée à un descripteur de la liste construite lors de la première phase. Les interacteurs sont indépendants de la nature de l'entité, même si le mode de calcul des valeurs peut être différent selon le type de l'entité mesurée. Des modes de présentation et de saisie de valeurs peuvent être identiques pour des descripteurs différents (valeurs de la position d'un point, ou encore valeurs de la longueur, largeur, périmètre…). Dans certains cas, comme dans SATI [CAP95], plusieurs interacteurs agissant sur une même information dans des espaces de représentation différents de cette information peuvent être trouvés ; ces interacteurs sont alors interdépendants : une action de l'utilisateur avec l'un d'entre eux se répercute dans les autres.

Un ensemble de tables, construites sur le modèle des tables 5.2.1 et 5.2.2, donne, pour chaque descripteur applicable à un type d'entité :

- les actions qui sont possibles sur les valeurs associées au descripteur ;
- l'information sur la valeur (source et nature de la valeur) ;
- des exemples d'interacteurs permettant de manipuler ces valeurs.

Nous devons encore raffiner ces tables en précisant pour chaque descripteur défini dans la table 4.1 le type de valeur qui lui correspond. Ensuite, nous cherchons, pour chaque couple ac-

tion-information, un interacteur permettant de présenter et de modifier l'information (en attribuant une autre source à la valeur associée au descripteur, ou en modifiant la valeur elle-même).

Ces tables permettent aussi de chercher les regroupements possibles entre interacteurs et modes de présentation des sources de valeurs (courantes et potentielles). De tels regroupements se font d'après les descripteurs, indépendamment des entités décrites (*cf.* la table 4.1). Ceci a pour but de permettre d'utiliser le même interacteur pour manipuler une information relative à un descripteur s'appliquant à plusieurs types d'entités. Par exemple, la saisie d'une valeur de couleur doit systématiquement être effectuée en utilisant une roue chromatique présentant l'espace des couleurs.

Pixel			
Information	**Action**	**Descripteur**	**Interacteur**
Valeur brute	Initialisation Correction	Position Aspect	Entrée d'une valeur numérique Choix dans l'espace de représentation des valeurs possibles du descripteur (espace des couleurs, étendue spatiale…)
Domaine de valeurs brutes	Initialisation Correction	Position Aspect	Entrée, manipulation, insertion, suppression de bornes du domaine Choix dans l'espace de représentation des valeurs possibles du descripteur (si cet espace est ordonné : direction principale, niveau de gris…)
Mesure sur une instance d'entité	Initialisation Correction Spécialisation	Position Aspect	Sélection d'un outil de mesure et déplacement sur l'entité à mesurer (dans la donnée ou dans une liste des entités disponibles)
Valeur parmi une série de valeurs issues d'une mesure portant sur un ensemble d'entités	Initialisation Correction Spécialisation	Position Aspect	Sélection d'une valeur dans l'espace de représentation de la série de valeurs (histogramme…)
Domaine de valeurs dans une série de valeurs issues d'une mesure portant sur un ensemble d'entités	Initialisation Correction Spécialisation	Position Aspect	Sélection du domaine dans l'espace de représentation de la série de valeurs (histogramme…)
Domaine de valeurs associé à un autre concept	Initialisation Généralisation Spécialisation	Position Aspect	Sélection du domaine de valeurs associé au même descripteur dans un concept de référence —choisi dans l'espace des concepts—
Référence à un concept valeur	Initialisation Généralisation Spécialisation	Position Aspect	Sélection du concept de référence dans l'espace des concepts

Table 5.3.1. - Interactions sur les pixels.

Frontière, Région			
Information	**Action**	**Descripteur**	**Interacteur**
Valeur brute	Initialisation Correction	Position Occupation spatiale Forme Orientation Aspect	Entrée d'une valeur numérique Choix dans l'espace de représentation des valeurs possibles du descripteur (roue des directions…)
Domaine de valeurs brutes	Initialisation Correction	Position Occupation spatiale Forme Orientation Aspect	Entrée des bornes du domaine Choix dans l'espace de représentation des valeurs possibles du descripteur (si cet espace est ordonné : direction principale, niveau de gris…)

Mesure sur une instance d'entité	Initialisation Correction Spécialisation	Position Occupation spatiale Forme Orientation Aspect	Sélection d'un outil de mesure et déplacement sur l'entité à mesurer (dans la donnée ou dans une liste des entités disponibles)
Valeur parmi une série de valeurs issues d'une mesure portant sur un ensemble d'entités	Initialisation Correction Spécialisation	Position Occupation spatiale Forme Orientation Aspect	Sélection d'une valeur dans l'espace de représentation de la série de valeurs (histogramme…)
Domaine de valeurs dans une série de valeurs issues d'une mesure portant sur un ensemble d'entités	Initialisation Correction Spécialisation	Position Occupation spatiale Forme Orientation Aspect	Sélection du domaine dans l'espace de représentation de la série de valeurs (histogramme…)
Domaine de valeurs associé à un autre concept	Initialisation Généralisation Spécialisation	Position Occupation spatiale Forme Orientation Aspect	Sélection du domaine de valeurs associé au même descripteur dans un concept de référence —choisi dans l'espace des concepts—
Référence à un concept valeur	Initialisation Généralisation Spécialisation	Position Occupation spatiale Forme Orientation Aspect	Sélection du concept de référence dans l'espace des concepts

Table 5.3.2. - Interactions sur les frontières et les régions.

Lorsque l'utilisateur sélectionne une valeur, le système lui présente la source existante de la valeur et ses sources potentielles puis, en se basant sur ces tables, propose de modifier la valeur ou de changer sa source selon l'un des modes de saisie associés au descripteur auquel la valeur est attachée. Dans notre exemple, si l'utilisateur choisit de baser les entités "{pixels}" demandées sur le regroupement des pixels de la donnée de départ selon leur couleur, le système proposera une roue chromatique. Par défaut le domaine de valeurs acceptable pour les entités à produire englobe toutes les valeurs, mais l'utilisateur peut le spécialiser de plusieurs manières, dont voici quelques exemples :

- en pointant ou en traçant dans la roue chromatique un sous-ensemble de valeurs acceptables (valeur brute) ;
- en désignant dans une donnée des entités de la "bonne" couleur (mesure sur une instance d'entité) ;
- en sélectionnant dans un concept un domaine de valeurs de couleurs (référence à un concept valeur).

5.3. De l'interaction à l'opérateur

Lorsque l'utilisateur valide son choix pour une valeur associée à un descripteur, le système choisit parmi les opérateurs présélectionnés lors de la première étape ceux qui répondent à la demande de l'utilisateur : type d'entité en entrée, type d'entité en sortie, descripteur utilisé, transformations apportées à la donnée. Si un domaine de valeur a été spécifié par l'utilisateur pour n'obtenir que des entités vérifiant la propriété <descripteur-valeur>, le système en tient compte lorsqu'il met en œuvre l'opérateur en lui transmettant la valeur ou le domaine de valeurs.

Dans l'exemple choisi, après que l'utilisateur a défini un domaine dans l'espace des couleurs pour les entités à produire, le système va :

- appliquer l'opérateur de classification sur les pixels de la donnée de départ et constituer une classe avec les pixels dont la couleur appartient au domaine défini ;
- appliquer la segmentation en couleurs à la donnée de départ et ne retenir que les régions dont la couleur est dans le domaine défini.

Les données produites sont ensuite proposées à l'utilisateur pour validation ou correction.

Nous construisons actuellement un prototype d'environnement interactif, en Java, dans lequel l'utilisateur peut spécifier de nouvelles entités à produire par le système selon le proces-

sus que nous venons de décrire. Cet environnement est encore l'objet de développements, notamment pour y introduire toutes les interactions décrites plus haut ainsi que la manipulation des concepts (création, nommage, modifications). Il utilise, pour réaliser les traitements sur les données, une base d'opérateurs décrits symboliquement en XML et implémentés en langage C.

6. CONCLUSION ET PERSPECTIVES

Dans cet article, nous avons proposé un ensemble d'entités destinées à être manipulées et caractérisées par l'utilisateur de manière interactive pour concevoir une application de TI. Nous avons présenté un ensemble de descripteurs permettant à l'utilisateur de spécifier les caractéristiques des entités qu'il manipule ou qu'il désire faire produire par le système. Ces descripteurs permettent également de rendre compte des transformations apportées aux entités par les opérateurs déclenchés suite aux interactions de l'utilisateur. Nous avons ensuite listé différentes manières pour l'utilisateur de spécifier les caractéristiques des entités et les interactions qui permettent ces spécifications en présentant des espaces de valeurs, dépendant ou non d'entités disponibles ou de concepts déjà définis. Enfin, nous avons présenté un mécanisme permettant de lier les opérateurs de TI aux entités en exploitant des interactions sur les valeurs associées aux descripteurs des entités.

À partir de ces différents éléments, nous sommes actuellement au stade de la mise en œuvre d'un prototype d'outil qui propose à l'utilisateur de définir des concepts en se basant sur les entités produites et nommées. Ce prototype devra ensuite évoluer pour devenir un outil de conception interactif d'applications de TI : la construction interactive d'un graphe de concepts, en connaissant la description sous-jacente des modifications apportées aux données pour produire les entités spécifiées par l'utilisateur, devrait permettre de construire une chaîne d'opérateurs (sous forme d'un script) constituant un squelette d'application de TI.

RÉFÉRENCES

[CAP95] O. CAPDEVIELLE, P. DALLE - Formulation d'objectifs de traitement d'images. IHM'95, 7èmes journées sur l'Ingéniérie des Interfaces Homme-Machine, Toulouse, octobre 1995.

[CLO98] R. CLOUARD, A. ELMOATAZ, M. REVENU - Une modélisation explicite et opérationnelle de la connaissance de traitement d'images. 11ème congrès RFIA, T II, pp. 65-74, Clermont-Ferrand, janvier 1998.

[CRO97] P. CROS - Typologie des mesures de traitement d'images. DEA Informatique de l'Image et du Langage, Université Paul Sabatier, Toulouse, juin 1997.

[DEJ96a] PH. DEJEAN, P. DALLE - Modèle symbolique de la donnée de traitement d'images. 10ème congrès RFIA, pp. 746-755, Rennes, janvier 1996.

[DEJ96b] PH. DEJEAN, P. DALLE - Un langage de description de concepts pour la formulation d'objectifs d'analyse. 5èmes journées ORASIS, Pôle Vision du GDR-PRC 'CHM', pp. 219-224, Clermont-Ferrand, 20 au 24 mai 1996.

[DEJ96c] PH. DEJEAN, P. DALLE - Image analysis operators as concept constructors. IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation, San Antonio, Texas (USA), pp. 66-70, avril 1996.

[DEE96] B. DEEN - A graphical user interface for science data processing. Nasa Science Information Newletter, vol. 2, numéro 39, pp. 22-27, 1996.

[FIC96] V. FICET - Construction interactive d'un modèle conceptuel d'applications de traitement d'image. Proc. Journées jeunes chercheurs en IA, Nantes, 1996.

[ING92] J.-M. INGLEBERT - Planification automatique de chaînes de traitement d'images. Thèse 3ème cycle, Université Paul Sabatier, Toulouse, 1992.

[MOI95] S. MOISAN, R. VINCENT, M. THONNAT, V. CLÉMENT, J. VAN DEN ELST - Manuel de référence du Logiciel OCAPI Version 2.0. Rapport technique INRIA n°183 (RT-0183), novembre 1995.

[RAS90] J. RASURE , D. ARJIRO, T. SAUER , C. WILLIAMS , S. WILSON - Khoros : a visual language and software development environement for image processing. University of New Mexico, Albuquerque, Nouveau Mexique (USA), 1990.