Chapitre 7

Raisonnement qualitatif sur le mouvement

Nous autres communistes nous avons une position claire: nous n'avons jamais changé, nous ne changerons jamais, nous sommes pour le changement.
Georges Marchais.

Dans les chapitres précédents nous avons présenté la théorie axiomatique qui nous servait à définir les propriétés structurelles de l'espace-temps que nous considérons comme le reflet des structures de l'espace-temps de sens commun. Nous avons vu également comment elle permettait de rendre compte en partie du sens d'expressions en langage naturel. Nous allons maintenant voir comment nous pouvons utiliser ce langage formel pour représenter certaines classes de mouvement et raisonner sur ces représentations. Pour cela nous partirons de classes inspirées de l'étude linguistique afin d'opérer une sélection cognitivement justifiée des configurations de mouvement les plus intéressantes. Le travail que nous présentons ici est une première étude de ces propriétés qui n'a rien d'exhaustif : nous allons présenter quelques classes d'inférences qui nous paraissent utiles a priori, et il reste beaucoup de travail à faire pour explorer systématiquement le raisonnement spatio-temporel sur cette base.

7.1 Apports linguistiques

Nous avions parlé au chapitre 2 des concepts relevés par diverses études linguistiques sur le mouvement, et notamment de regroupement de types de mouvement selon des propriétés communes par rapport à certains aspects spatiaux et temporels. Beaucoup d'auteurs ont cherché en effet à classer des configurations de mouvement à partir notamment de l'étude de certains verbes (cf. (Talmy, 1983) pour ce qui est des facteurs "géométriques" par exemple). Par exemple (Sablayrolles, 1995) considère le mouvement essentiellement comme une caractérisation de la position d'un objet pendant trois phases successives, suivant en cela (Laur, 1991; Boons, 1985).
Nous allons pour notre part reprendre l'étude des verbes de déplacements transitifs du français présentée au chapitre 6 pour tenter d'isoler les aspects essentiels qui permettraient de se concentrer sur des formes de trajectoires particulières exprimables dans notre théorie ST (parmi toutes les possibilités) et qui correspondent aux mouvements les plus "basiques", intuitivement, que l'on peut extraire de l'observation du langage naturel. En effet sur la base de la seule méréo-topologie spatio-temporelle ST on

peut définir des trajectoires spatio-temporelles très différentes, et si cette expressivité est a priori un avantage pour la représentation, c'est aussi un inconvénient pour le raisonnement. Un objectif raisonnable dans la perspective du raisonnement qualitatif serait donc de définir un ensemble de configurations dans l'espace-temps qui soit à la fois assez expressif pour couvrir une partie de ce que l'on veut exprimer pour une tâche donnée, et en même temps assez contraint pour permettre une utilisation pratique raisonnable. Le même problème se pose par exemple en raisonnement spatial qualitatif pour la topologie. Sur la base de la théorie RCC, (Bennett, 1996) introduit une multitude de relations spatiales qui permettent par exemple de distinguer des propriétés dans des espaces de dimensions différentes, mais pour le raisonnement, c'est la sous-classe de relations RCC-8 qui est utilisé car le type d'inférences auquel elle se prête est des propriétés intéressantes (elle est exhaustive et donc le raisonnement sur cette base est clos par composition).
La complexité de notre théorie, fondée sur trois primitives, fait que nous ne pouvons encore exhiber un ensemble de relations ayant à la fois des propriétés inférentielles intéressantes et qui peuvent exprimer des mouvements intéressants (on peut définir huit relations semblables à RCC8 sur l'espace-temps, mais elles n'expriment évidemment aucune information intéressante temporellement). Nous allons cependant indiquer quelques classes qui nous paraissent aller vers cet objectif, et indiquer quel genre d'inférences on peut faire sur cette base, et à quoi ces inférences correspondent intuitivement.

Dans l'étude des verbes de déplacement, les facteurs principaux qui apparaissent sont non pas les localisations d'un objet pendant les trois phases de l'événement (contrairement à ce qu'affirment Sablayrolles pour les verbes de changement de lieu), mais d'une part l'accent mis sur une phase du mouvement : le début, la fin ou bien un événement en entier, et d'autre part la relation qui lie l'objet mobile par rapport à un repère, (soit une inclusion par rapport à une région dépendant du repère, soit un contact). Tout mouvement qui ne présente pas un changement topologique va par ailleurs être décrit dans ST par une relation purement “spatiale” (PP_{sp}, EC_{sp}, etc...). On peut donc considérer que les classes de verbes que l'on a isolées au chapitre précédent forment un ensemble de mouvement qui ont un ancrage intuitif intéressant et que l'on peut se donner comme objectif de raisonner sur ces classes.

7.2 Représentation de mouvement naturels

Nous avons présenté au chapitre 6 la représentation de mouvement topologiques exprimés par certains verbes. Nous allons ici définir des classes de changement topologiques qui correspondent à ces verbes, mais de façon un peu plus abstraite, dans la mesure où on cherche des relations basiques entre régions de l'espace-temps. L'étude lexicale ne doit en conséquence être vu ici que comme un guide pour la définition de classes topologiques de mouvement significatives.

7.2.1 Quelques concepts spatio-temporels intuitifs

Nous allons d'abord introduire quelques notions qui nous serons indispensables par la suite.
Tout d'abord nous utiliserons souvent un cas d'overlap partiel particulier, correspondant à un recouvrement spatio-temporel et pas uniquement temporel (une tranche de x doit être complètement hors de y pendant un moment et réciproquement) :

D 7.1 $\mathrm{STPO}xy \triangleq \mathrm{O}xy \ \wedge\ \neg(x \equiv_t x \cdot y) \ \wedge\ \neg(y \equiv_t y \cdot x)$

Avec cette définition on a bien en effet la propriété voulue:

Th 7.1 STPO$xy \rightarrow \exists u(TSux \wedge \neg$C$uy)$

Nous introduisons de plus une relation d'inclusion de tranche:

D 7.2 LOC$xy \triangleq \exists z($TS$zx \wedge$ P$zy)$ (une tranche de x fait partie de y)

Et une relation d'inclusion temporaire:

D 7.3 TEMP_IN$xy \triangleq$LOC$xy \wedge$ STPOxy (x est "temporairement" une partie de y)

Nous allons également définir des relations temporelles équivalentes à celles de Allen, par commodité (il faut noter que = et b(efore) existent déjà et correspondent à $\equiv_t$ et $<$, et que MEETS a déjà été introduite):

D 7.4 STARTS$xy \triangleq x \subseteq_t y \wedge \forall z(z < x \rightarrow z < y) \wedge \neg y \subseteq_t x$

D 7.5 FINISHES$xy \triangleq x \subseteq_t y \wedge \forall z(x < z \rightarrow y < z) \wedge \neg y \subseteq_t x$

Pour éviter toute confusion, l'overlap de Allen sera noté O$_t$; il diffère en effet de σ car il implique une orientation (une partie du premier terme est situé "avant" le deuxième terme mis en relation):

D 7.6 O$_t xy \triangleq x\sigma y \wedge \exists u($STARTS$uy \wedge$ FINISHES$ux)$

D 7.7 DURING$xy \triangleq x \subseteq_t y \wedge \neg$FINISHES$xy \wedge \neg$STARTS$xy$

Les relations inverses peuvent être définies d'une façon évidente, et seront notées MEETS$_i$, STARTS$_i$, FINISHES$_i$, O$_i$, DURING$_i$. Ces relations ne vérifient pas tous les axiomes de (Allen et Hayes, 1985) sur des intervalles de temps puisqu'il n'y a pas équivalence entre l'étendue temporelle d'une entité et cette entité elle-même.
Pour vérifier que les relations de Allen ont bien la dénotation voulue sur les étendues temporelles, il suffit en fait de vérifier sémantiquement ce qu'elles signifient sur la dimension temporelle. En fait chez Allen les intervalles sont des intervalles ouverts et la relation meets met en rapport deux intervalles (ouverts donc) disjoints mais ayant une frontière en commun. Les étendues temporelles de nos individus spatio-temporels sont en fait plus générales puisqu'elle peuvent être fermées ou ouvertes temporellement ou spatio-temporellement, comme on l'a vu au chapitre 4. Nous avons de notre côté l'interprétation suivante pour la relation MEETS (de façon évidente):

$$[\![\mathrm{MEETS}xy]\!] = \text{vrai si et seulement si } \mathrm{TPS}([\![x]\!]) \cap \mathrm{TPS}([\![y]\!]) \neq \emptyset \wedge \mathrm{TPS}([\![int(x)]\!]) < \mathrm{TPS}([\![int(y)]\!])$$

C'est à dire que x et y se succèdent et partagent un point (le point qui fait la transition entre x et y).

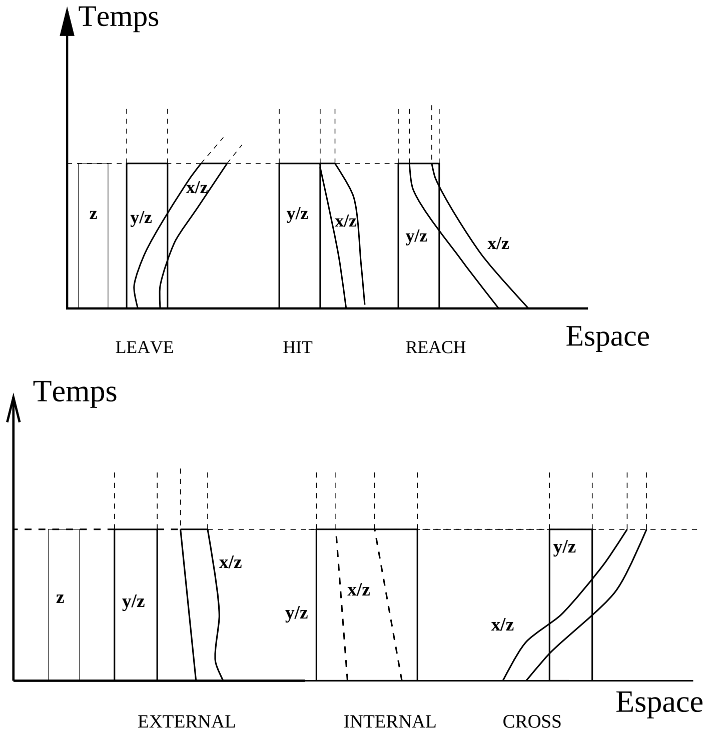

FIG. 7.1 - *Les six classes de mouvement "naturelles"*

7.2.2 Classes naturelles

Nous avons maintenant tout ce qu'il faut pour spécifier topologiquement les comportements de classes de mouvement prenant en compte les aspects vus section 7.1. Ces classes de mouvement mettent trois individus spatio-temporels en relation: le premier argument (z) correspond à l'entité qui "temporalise" la relation: la relation est valable pendant la durée de vie de l'entité z. En fait la relation porte donc entre $x_{/z}$ et $y_{/z}$, x et y (les deux autres termes de la relation) étant deux autres entités spatio-temporelles. Intuitivement cela peut correspondre à deux entités x et y dont on exprime la relation "pendant" une éventualité z. Nous allons, conformément à l'étude lexicale, définir six classes de mouvement notées LEAVE, REACH, HIT, CROSS, INTERNAL and EXTERNAL (la désignation en anglais nous permettant de ne pas oublier que chaque classe ne correspond pas exactement à la sémantique de chaque verbe); intuitivement, ces classes correspondent aux comportements topologiques des classes des verbes suivants LEAVE représente la classe de *quitter*, REACH la classe d'*atteindre*, HIT la classe de *heurter* et CROSS la classe de *traverser*, INTERNAL correspond à la classe de verbes comme *arpenter* dont le comportement topologique est très sous-spécifié et EXTERNAL correspond à la classe de verbes comme *éviter, contourner* (cf. figure 7.1), qui focalisent également plus sur des propriétés non topologiques que topologiques. Les classes sont "abstraites" dans la mesure où par exemple on ne considère pas les notions d'intérieur d'une entité, mais on ne s'attache qu'à caractériser des relations basiques. De la même façon, la classe CROSS exprime le déplacement d'une entité qui "rentre" dans une autre puis en "ressort".

D 7.8 REACH$zxy \triangleq$TEMP_IN$x_{/z}y_{/z} \wedge$ FINISHES$(x_{/z} \cdot y_{/z})z$

D 7.9 LEAVE$zxy \triangleq$TEMP_IN$x_{/z}y_{/z} \wedge$ STARTS$(x_{/z} \cdot y_{/z})z$

D 7.10 INTERNAL$zxy \triangleq$PP$x_{/z}y_{/z}$

D 7.11 HIT$zxy \triangleq$EC$x_{/z}y_{/z} \wedge \forall x_1, y_1[(Px_1x_{/z} \wedge$P$y_1y_{/z} \wedge$EC$x_1y_1) \rightarrow$ (FINISHES$x_1z \wedge$FINISHES$y_1z)]$

D 7.12 EXTERNAL$zxy \triangleq \neg$C$x_{/z}y_{/z}$

D 7.13 CROSS$zxy \triangleq \exists z_1, z_2(z = z_1 + z_2 \wedge$ MEETS$z_1z_2 \wedge$ REACH$z_1xy \wedge$ LEAVE$z_2xy)$

7.3 Raisonner sur les classes de mouvement naturelles

Pour être en mesure de raisonner efficacement sur des théories qualitatives de l'espace, il est habituel d'utiliser et d'implémenter des tables de composition de relations qui sont dédiées à des classes d'inférences plus spécifiques que des démonstrateurs génériques de théorèmes en logique du premier ordre, d'autant que beaucoup de théories qualitatives ne sont pas décidables. C'est ainsi que le formalisme d'Allen est l'objet de travaux extrêmement nombreux consacrés à l'étude de la calculabilité de la cohérence d'un ensemble de relations en utilisant une table de composition (cf. par exemple (Ligozat, 1991; Ladkin, 1987)). Plus récemment, certains travaux ont commencé à fournir des résultats comparables sur certaines théories établies de l'espace, comme RCC8 et certaines versions affaiblies (comme RCC5, qui est en fait une méréologie particulière). Brièvement une table de composition a deux dimensions avec en entrée chacune des relations que l'on considère (pour le raisonnement temporel, on prend les 13 relations exhaustives et disjointes de Allen par exemple); la table associe alors à deux relations de l'ensemble de base R$_1(x, y)$ et R$_2(y, z)$ la disjonction de relations de base la plus informative compatible avec la conjonction des deux entrées.
Typiquement: (R$_1(x, y) \wedge$ R$_2(y, z)) \rightarrow$ (R$_i(x, z) \vee$ R$_j(x, z) \vee \cdots$)
Dans le cas du mouvement, on a pas encore pu isoler de classes exhaustives suffisamment expressives pour définir un cadre analogue à celui des compositions de relations de Allen ou de relations spatiales. Cependant, plusieurs sortes d'inférences utiles peuvent être dégagées, sur la base des types d'information qui peuvent être exprimées dans ST : des informations purement temporelles données par les relations $<$,σ et les relations de Allen, des relations purement spatiales (invariantes par rapport aux tranches) et des informations spatio-temporelles comme les mouvement introduits plus haut. Nous allons donc étudier plusieurs sortes de compositions d'informations telles qu'elles pourraient être utilisées pour certaines tâches particulières (on en verra d'ailleurs des exemples dans les chapitre suivants).

7.3.1 La combinaison du mouvement et d'informations temporelles

Nous montrons table 7.1 les résultats de la composition d'informations temporelles et spatio-temporelles entre deux entités, en respectant le schéma suivant:
$((\mathrm{R}_1xy \wedge \mathrm{Mvt}(y, u, v)) \rightarrow \mathrm{R}_2u_{/x}v_{/x})$
Avec, dans chaque cas, une entrée de la table qui correspond à une relation temporelle (R$_1$) et une relation de mouvement parmi celles présentées plus haut (Mvt); La relation R$_1$ exprime une relation temporelle entre l'entité qui détermine le "temps" de la relation de mouvement (y) et une autre entité (x), et le résultat est une relation spatio-temporelle entre les deux termes du premier mouvement (u et v)

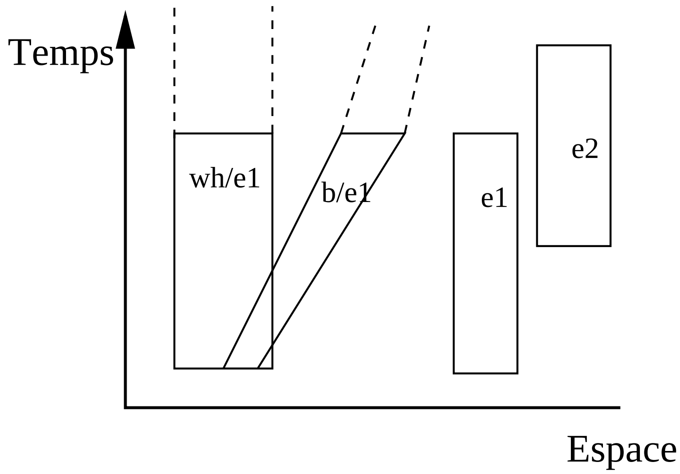

FIG. 7.2 - *Un Exemple de composition d'information (temps+mouvement)*

pendant l'entité x (le résultat est à ce stade une relation R$_2$, prise à ce stade parmi les huit relations topologiques de RCC8 ou une disjonction de ces relations; nous avons pris ces relations spatio-temporelles car elles sont les plus basiques et les seules à former une classe de relations stable par composition). La figure 7.2 illustre le type de situation qui correspond à cette table d'inférence, avec en exemple R$_1$=O$_t$ et Motion=LEAVE. Les entrées de cette table sont toutes des théorèmes de la théorie; Dans le cas de MEETS et sa réciproque, on ne peut rien dire en général, sauf si l'on considère les mouvements comme continus au sens défini chapitre 5 ; ces cas sont marqués d'un $\langle c\rangle$. Dans ce cas, les entités doivent vérifier les conditions particulières nécessaires à la validité de la continuité (ce qui est tout à fait raisonnable pour des mouvements d'entité naturelles comme celles que l'on utilise couramment dans le langage), et les relations correspondent à ce que l'on a vu au chapitre 5. Les démonstrations de cette table sont en annexe A pour ne pas alourdir la lecture de ce chapitre.

On peut voir à quoi correspondent intuitivement ces inférences sur les exemples suivants. Considérons l'entrée O$_i$ / LEAVE. Elle exprime l'information correspondant par exemple à une phrase du type :

(16) Bill quittait la Maison Blanche quand Monica est arrivée.

Qui peut être assez classiquement interprétée (par exemple en DRT, où il y a une notion d'overlap temporel) par : LEAVE(e_1, b, wh) et $arriver(e_2, m)$ et O$_i e_2 e_1$ soit O$_t e_1 e_2$, avec des notations évidentes ($[\![wh]\!]$ =maison blanche, les événements introduits sont e_1 et e_2). D'après le tableau, on peut déduire :

$$\text{PO}(b/e_2, wh/e_2) \vee \text{EC}(b/e_2, wh/e_2) \vee \text{DC}(b/e_2, wh/e_2)$$

C'est-à-dire que pendant l'événement e_2, Bill peut-être encore à la Maison Blanche mais à un moment au moins il n'y est plus (PO), ou bien il est en (complètement) sorti : EC, (DC).
On peut voir maintenant un exemple faisant intervenir la continuité. Prenons l'entrée MEETS/LEAVE qui correspond à :

$$\text{LEAVE}yuv \wedge \text{MEETS}xy$$

TAB. 7.1 - *Combinaison d'un mouvement et d'une information temporelle*

<table>
<tr><th>R_1/Motion</th><th>LEAVE</th><th>HIT</th><th>REACH</th><th>CROSS</th><th>INTERNAL</th><th>EXTERNAL</th></tr>
<tr><td>MEETS $\langle c\rangle$</td><td rowspan="3">PO, TPP, NTPP, TPP^{-1}, $NTPP^{-1}$, =</td><td rowspan="2">DC, EC, PO</td><td rowspan="3">DC, EC, PO</td><td rowspan="3">DC, EC, PO</td><td rowspan="2">PO, TPP, NTPP, =</td><td rowspan="2">DC, EC, PO</td></tr>
<tr><td>O_t</td></tr>
<tr><td>STARTS</td><td rowspan="2">DC</td><td rowspan="4">PP</td><td rowspan="4">DC</td></tr>
<tr><td>DURING</td><td>Tous</td><td>Tous</td><td>Tous</td></tr>
<tr><td>$\equiv_t$</td><td>PO</td><td rowspan="2">EC</td><td>PO</td><td>PO</td></tr>
<tr><td>FINISHES</td><td rowspan="3">PO, EC, DC</td><td rowspan="3">PO, TPP, NTPP, TPP^{-1}, $NTPP^{-1}$, =</td><td rowspan="3">DC, EC, PO</td></tr>
<tr><td>O_i</td><td rowspan="5">EC, PO</td><td rowspan="5">PO, TPP, NTPP, =</td><td rowspan="5">DC, EC, PO</td></tr>
<tr><td>MEETS$_i$ $\langle c\rangle$</td></tr>
<tr><td>FINISHES$_i$</td><td rowspan="3">PO</td><td rowspan="3">PO</td><td rowspan="3">PO</td></tr>
<tr><td>STARTS$_i$</td></tr>
<tr><td>DURING$_i$</td></tr>
</table>

Qui est une interprétation partielle par exemple de la phrase suivante (on ne prétend pas ici faire l'interprétation que ferait une théorie discursive plus élaborée comme la DRT) :

(17) Bill a quitté le Bureau Ovale juste après sa discussion avec Hilary.

Où u dénote Bill, v le Bureau Ovale, y est l'événement correspondant, et x est l'événement correspondant à la discussion avec Hilary. On peut donc en déduire PO$(u/x, v/x)$ $\vee$ PP$(u/x, v/x)$, c'est à dire que Bill a été au moins en partie dans le Bureau Ovale pendant sa discussion avec Hilary.

On peut vérifier également sur ces quelques exemples l'adéquation cognitive de la théorie dans la mesure où les inférences que l'on peut tirer de la combinaison de certaines informations ont une signification intuitive. Il serait assez lourd de présenter chaque entrée de cette manière et nous n'avons fait que donner quelques exemples de ce type d'inférence "naturelle". On peut remarquer que l'on peut donner parfois plus d'information que seulement une relation méréo-topologique spatio-temporelle. Sur le dernier exemple, on peut ajouter que même si Bill n'a été que partiellement dans le Bureau Ovale pendant la discussion, par continuité on peut dire qu'il y a été au moins "juste avant" l'événement y (ce qu'on peut exprimer par FINISHES$(u/x \cdot v/x)x$). On voit là qu'il nous faudrait pour être plus complet disposer de classes de configurations de mouvement qui puisse indiquer ce genre d'information (PO étant sous-spécifié par rapport à la situation temporelle de l'intersection).

7.3.2 Combinaison d'un mouvement et d'informations spatiales

Même si on considère que tous les objets ont une durée de vie limitée et sont des histoires d'espace-temps, nous percevons notre environnement par rapport à certains objets que l'on considère comme "fixes" parce qu'ils définissent notre cadre de référence. Ainsi le mouvement est souvent considéré comme le mouvement d'une entité par rapport à une autre ou par rapport à d'autres entités (souvent implicites), qui sont le cadre de référence. Nous allons voir maintenant comment on peut représenter ce type de situation et comment on peut raisonner par rapport à des entités se déplaçant par rapport à un cadre de référence constitué d'entités connues. Nous allons ainsi considérer que certaines entités particulières conservent les mêmes relations les unes par rapport aux autres à tout moment. Autrement dit, les relations qui les relient seront les équivalents purement spatiaux des relations topologiques fondamentales (définies chapitre 5). La table 7.2 résume les résultats de la composition d'une information relative au mouvement d'une entité quelconque par rapport à une entité du cadre de référence et d'une information relative à deux entités du cadre de référence (donc "fixes" l'une par rapport à l'autre) dont celle qui intervient dans la relation de mouvement. Rappelons que cela signifie que les relations R$_{sp_1}$ dans la table 7.3.2 sont les relations spatiales et impliquent :

$$R_1 y_{/u} z_{/u} \ \wedge \ \forall v (v \subseteq_t u \rightarrow \ R_1 y_{/v} z_{/v})$$

A partir des entrées de la table, R$_1 y_{/u} z_{/u}$ et Mvt(u, x, y), on peut déduire une relation R$_2$ telle que R$_2 x_{/u} z_{/u}$. Cette relation ne correspond pas forcément à un mouvement "naturel" parmi ceux introduits précédemment et nous nous contentons une nouvelle fois (pour l'instant) des relations de base spatio-temporelles.

La figure 7.3 montre un exemple d'une situation que l'on trouve dans la table. Dans ce cas précis, le mouvement est LEAVE et la relation R$_1$ est DC$_{sp}$. Ce qui correspond à des situations du genre :

(18) Bill a quitté la Maison Blanche. La Maison Blanche et l'Arkansas sont séparés.

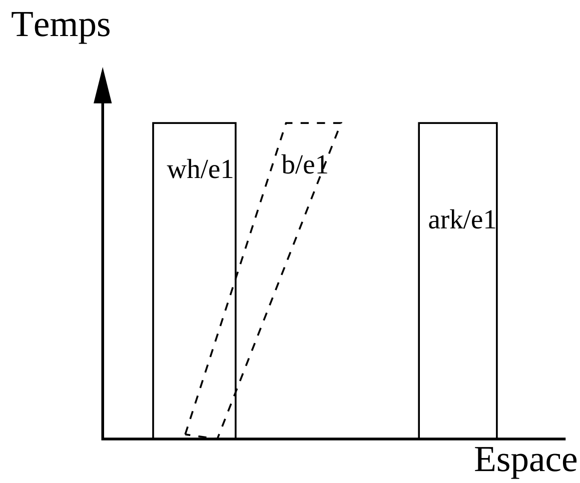

FIG. 7.3 - *Un Exemple de combinaison mouvement/localisation de deux repères*

Décrite par LEAVE$(e_1, b, wh) \wedge$ DC$_{sp}(wh/e_1, ark/e_1)$. Le résultat est alors DC, EC ou PO, c'est à dire que Bill n'est pas en Arkansas pendant e_1 (DC), il a pu être en contact extérieur (EC) à un moment, ou bien il a pu y entrer en partie mais pas pendant tout e_1 (PO). Là encore, bien que ce raisonnement soit correct, on peut inférer aussi une information supplémentaire, le recouvrement éventuel Bill/Arkansas ne peut pas intervenir pendant une partie de e_1 qui débute cet événement (PO$(b/e_1, ark/e_1) \rightarrow \neg$ STARTS$((b/e_1) \cdot (ark/e_1), e_1)$).

Les démonstrations sont présentées en annexe.

On peut constater sur ces tables que l'on perd beaucoup d'informations en exprimant le résultat de la composition avec les relations spatio-temporelles; on voit que PO est notamment un résultat fréquent, et il faudrait faire un choix plus astucieux de relations spatio-temporelles pour manipuler des représentations qualitatives de mouvement.

7.4 Classes de représentation complètes

7.4.1 Caractéristiques des mouvements de base

On a vu brièvement l'insuffisance des classes naturelles de mouvement à fournir un ensemble de relations clos par rapport à quelques types d'inférences. Or s'il est indéniable qu'il est primordial de distinguer certaines relations pour la représentation intuitive du mouvement, si l'on veut pouvoir raisonner efficacement en suivant les stratégies déjà employées en raisonnement temporel ou spatial, il est indispensable d'avoir un ensemble de relations de mouvement exhaustif. Cela rend alors possible le calcul de composition en exprimant les résultats par des disjonctions des relations exhaustives véritablement spatio-temporel, et doit permettre (il faudra le prouver) de véhiculer les informations les plus précises dont on peut prouver la cohérence avec les données. Dans le cas des compositions relation de mouvement+relation temporelle, on peut en effet dans certains cas distinguer des PO de natures temporellement différentes (LEAVE et REACH en sont des exemples évidents), et on va donc essayer dans

TAB. 7.2 - *Composition d'information spatiale et d'un mouvement*

R_1/Mvt	LEAVE	HIT	REACH	CROSS	INTERNAL	EXTERNAL
DC_{sp}	DC, EC, PO	DC, EC, PO, TPP^{-1}, $NTPP^{-1}$	DC, EC, PO	DC, EC, PO	DC	Tous
EC_{sp}	DC, EC, PO	DC, EC, PO, =, TPP, $NTPP^{-1}$, TPP^{-1}	DC, EC, PO	DC, EC, PO	DC, EC	Tous
PO_{sp}	DC, EC, PO, TPP, NTPP	DC, EC, PO, TPP, NTPP	DC, EC, PO, TPP, NTPP	DC, EC, PO, TPP, NTPP	Tous	DC, EC, PO, TPP, NTPP
TPP_{sp}^{-1}	DC, EC, PO	DC, EC	DC, EC, PO	DC, EC, PO	Tous	DC
$NTPP_{sp}^{-1}$	DC, EC, PO	DC	DC, EC, PO	DC, EC, PO	Tous	DC
=	PO	EC	PO	PO	TPP, NTPP	DC
TPP_{sp}	PO, TPP, NTPP	PO, TPP, NTPP	PO, TPP, NTPP	PO, TPP, NTPP	NTPP, TPP	Tous
$NTPP_{sp}$	PO, TPP, NTPP	PO, TPP, NTPP	PO, TPP, NTPP	PO, TPP, NTPP	NTPP, TPP	Tous

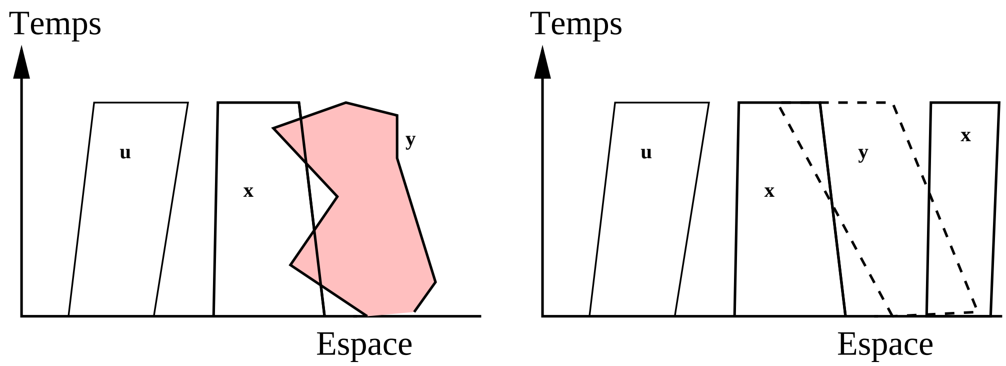

FIG. 7.4 - *Contre-exemple de mouvement simple*

cette section de caractériser de la façon la plus précise possible la composition d'information. Nous allons d'abord préciser quels types de mouvement de base on veut considérer afin de restreindre dans un premier temps les cas couverts. On pourra à partir de ces classes de base construire des mouvements plus complexes correspondant à des classes de plus en plus larges, par exemple par disjonction, par somme des trajectoires à des moments différents, etc...

On veut par exemple éviter d'affronter tous les problèmes à la fois, et il nous semble raisonnable d'imposer les contraintes suivantes sur les trajectoires de base :

1. on considérera que les mobiles sont connexes, correspondant ainsi aux référents d'entités singulières (par opposition par exemple à des collectifs, comme une armée, une foule, une forêt, ...).

2. On cherche à garder comme base des mouvements dont les mobiles ne font pas de retour sur eux-mêmes, car ils correspondent à des mouvements plus simples se succédant. Topologiquement on peut caractériser ceci en disant qu'il n'y a pas des connections multiples se faisant et se défaisant au cours du temps considéré, et donc qu'il n'y a pas de "trous" dans la somme des deux mobiles considérés, c'est-à-dire que le complément de la somme est connecté. De plus on impose la même chose par rapport à une éventuelle intersection. On nommera ces mouvements, mouvement simple (SM), en combinant avec la contrainte précédente:

   D 7.14 SM$(u, x, y) \triangleq$CON$(x_{/u})$ $\wedge$ CON$(y_{/u})$ $\wedge$ CON$(-((x + y)_{/u}))$ $\wedge$ (PO$(x/u)(y/u)$ $\rightarrow$ (CON$(x \cdot y)/u$ $\wedge$ CON$(x - y)/u$ $\wedge$ CON$(y - x)/u)$)

   Cela exclue les configurations présentées figure 7.4.

3. On impose que les mouvements soient continus ce qui restreindra les types de transitions possibles. Définition mouvement continu (CM):

   D 7.15 CM$(u, x, y) \triangleq$CONTINU$(x_{/u})$ $\wedge$ CONTINU$(y_{/u})$

Finalement on peut regrouper les mouvements respectant ces conditions sous le terme de mouvement (topologique) de sens commun (CSM):

D 7.16 CSM$(u, x, y) \triangleq$CM(u, x, y) $\wedge$ SM(u, x, y)

7.4.2 Subdivision exhaustive des mouvements de base

Nous proposons ici une subdivision des mouvements possibles respectant les conditions de la section précédente qui conserve les distinctions essentielles que l'on juge nécessaires. On a vu par l'étude des configurations topologiques qui interviennent dans la sémantique des verbes que la distinction entre parties propres tangentielles et non tangentielles n'est pas pertinente pour le mouvement relatif de deux régions de l'espace. Nous allons donc conserver seulement les autres relations topologiques spatio-temporelles. Étant donné que :

$$\forall x, y(\text{PP}xy \oplus \text{EC}xy \oplus \text{DC}xy \oplus \text{PO}xy \oplus \text{PPI}xy \oplus x = y)$$

on va alors considérer chacune de ces configurations en introduisant les distinctions temporelles qui ont paru nécessaire lors de la définition des classes naturelles, c'est-à-dire les types de changement de connection et la phase à laquelle elle intervient (par exemple pour LEAVE, l'intersection des trajectoires correspond au "début" du mouvement —relation STARTS). Nous allons donc introduire les distinctions liées aux relations temporelles qui mettent en relation des parties des mobiles des mouvements considérés, sur la base des relations équivalentes aux relations de Allen, STARTS, FINISHES et DURING, en notant les relations en indice S, F ou D.

Cas de la non connection

Constatons tout d'abord que l'on ne peut subdiviser temporellement les mouvements externes (DC étant vérifié au cours du mouvement, l'est pendant toutes les tranches temporelles).

Cas de la connection externe

En cas de connexion externe, les cas possibles sont donc :

1. Le contact spatial, EC_{sp}.
2. Un contact non purement spatial, et ce contact peut intervenir pendant une tranche, ce que l'on indiquera en exposant :

   $$\text{EC}^d_S xyu \triangleq \text{CSM}xyu \wedge \text{EC}(x/u)(y/u) \wedge \exists v\ (\text{STARTS}vu \wedge \text{EC}_{sp}(x/v)(y/v)) \wedge \neg\text{EC}_{sp}(x/u)(y/u)$$

   $$\text{EC}^d_F xyu \triangleq \text{CSM}xyu \wedge \text{EC}(x/u)(y/u) \wedge \exists v\ (\text{FINISHES}vu \wedge \text{EC}_{sp}(x/v)(y/v)) \wedge \neg\text{EC}_{sp}(x/u)(y/u)$$

   $$\text{EC}^d_D xyu \triangleq \text{CSM}xyu \wedge \text{EC}(x/u)(y/u) \wedge \exists v\ (\text{DURING}vu \wedge \text{EC}_{sp}(x/v)(y/v)) \wedge \neg\text{EC}_{sp}(x/u)(y/u)$$

3. Un contact non purement spatial et correspondant à une connexion atomique ou "ponctuelle" :

   $$\text{EC}_S xyu \triangleq \text{CSM}xyu \wedge \text{EC}(x/u)(y/u) \wedge \forall v\ ((v \subseteq_t u \wedge \text{EC}(x/v)(y/v)) \rightarrow \text{STARTS}vu)$$

   $$\text{EC}_F xyu \triangleq \text{CSM}xyu \wedge \text{EC}(x/u)(y/u) \wedge \forall v\ ((v \subseteq_t u \wedge \text{EC}(x/v)(y/v)) \rightarrow \text{FINISHES}vu)$$

   $$\text{EC}_D xyu \triangleq \text{CSM}xyu \wedge \text{EC}(x/u)(y/u) \wedge \forall v\ ((v \subseteq_t u \wedge \text{EC}(x/v)(y/v)) \rightarrow \text{DURING}vu)$$

On trouve une illustration de ces configurations à la figure 7.5.

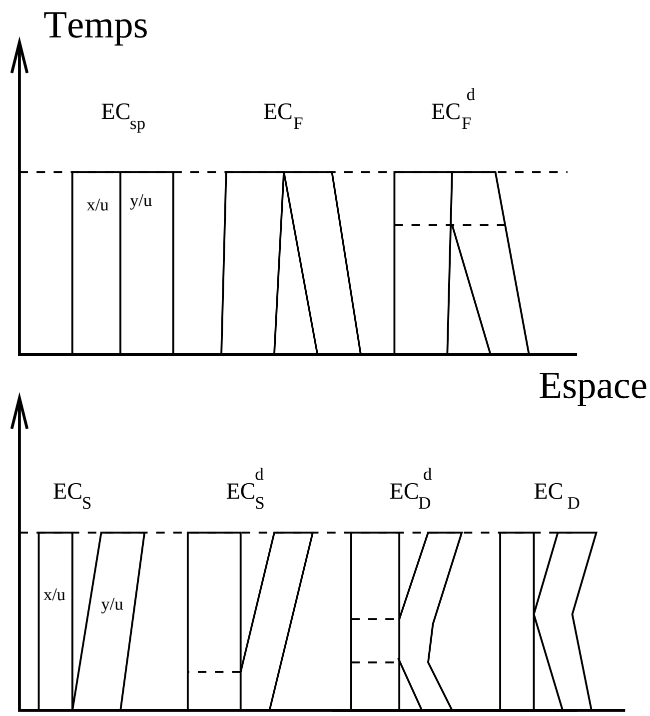

FIG. 7.5 - *Illustrations des cas de contact.*

Cas du recouvrement partiel

Dans le cas d'un recouvrement partiel, l'intersection peut intervenir soit au début soit au milieu soit à la fin de la partie temporelle considérée, soit être temporellement équivalente à cette partie (et c'est le cas de PO$_{sp}$). Par ailleurs il peut y avoir une tranche ou non pendant laquelle une des deux entités concernées peut-être dans l'autre. Au total on a les cas suivants :

– PO$_{sp}(x/u)(y/u)$.

– PO$^d_S xyu \triangleq$TEMP_IN$(x/u)(y/u) \wedge$ STARTS$((x \cdot y)/u)u$

– PO$^d_F xyu \triangleq$TEMP_IN$(x/u)(y/u) \wedge$ FINISHES$((x \cdot y)/u)u$

– PO$^d_D xyu \triangleq$TEMP_IN$(x/u)(y/u) \wedge$ DURING$((x \cdot y)/u)u$

– PO$_S xyu \triangleq$STPO$(x/u)(y/u) \ \wedge\ \neg$TEMP_IN$(x/u)(y/u) \wedge$ STARTS$((x \cdot y)/u)u$

– PO$_F xyu \triangleq$STPO$(x/u)(y/u) \ \wedge\ \neg$TEMP_IN$(x/u)(y/u) \wedge$ FINISHES$((x \cdot y)/u)u$

– PO$_D xyu \triangleq$STPO$(x/u)(y/u) \ \wedge\ \neg$TEMP_IN$(x/u)(y/u) \wedge$ DURING$((x \cdot y)/u)u$

Plus les relations symétriques correspondant. On trouve une illustration de ces configurations à la figure 7.6.

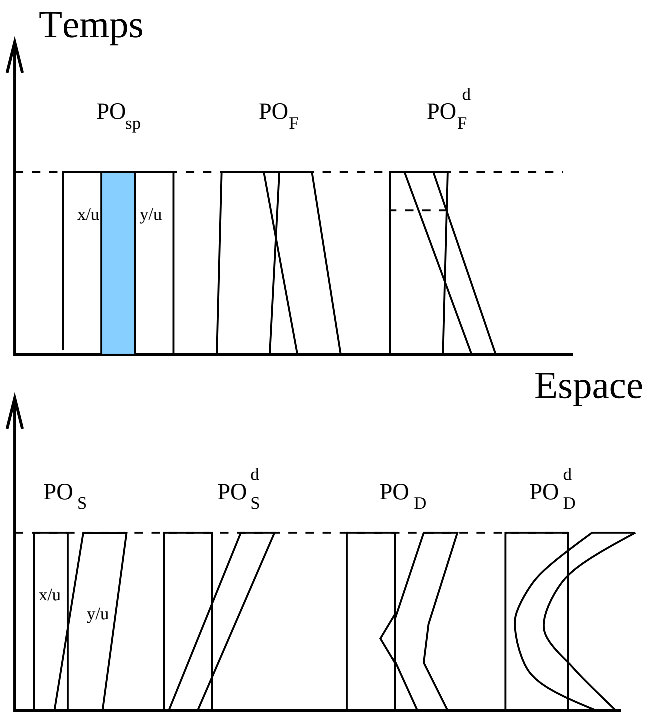

FIG. 7.6 - *Illustrations des cas de recouvrement.*

Cas de l'inclusion

Pour l'inclusion, les cas sont uniquement les cas déjà vus de PP$_{sp}$ et PPI$_{sp}$, éventuellement on peut considérer les distinctions tangent/non tangent, ce qui nous donne les 4 relations (N)TPP$_{sp}$ et (N)TPPI$_{sp}$.

7.5 Conclusion

Il faudrait maintenant étudier précisément la composition d'information dans le style des sections précédentes, et vérifier que l'on conserve les informations pertinentes (spatio-temporelles *et* temporelles). Il est inévitable que l'on aura quand même des disjonctions d'information mais ces classes doivent pouvoir assurer que l'on conserve toute l'information. Ce qui est moins évident, vu que ces classes ne sont pas exhaustives par rapport à toutes les situations possibles (cela fait partie de leurs avantages), c'est si la composition par exemple d'une relation de ce type avec une relation purement spatiale est toujours une disjonction de ces relations de base. Nous n'avons pas pu encore étudier ces situations en détail. Il y a un type d'inférences intéressant que nous n'avons pu étudier et pour lequel ces classes seront insuffisantes. Considérons par exemple les informations suivantes :

Bill a quitté la Maison Blanche et s'est mis à tourner autour pour se calmer.

Qui décrivent deux événements e_1 et e_2 tels que :

LEAVE$(e_1, b, wh) \wedge$ EXTERNAL(e_2, b, wh)

On peut vouloir représenter l'information spatio-temporelle de façon globale pendant $e_1 + e_2$ (ici on a aussi MEETS$e_1 e_2$) à l'aide d'une relation spatio-temporelle, qui serait ici LEAVE$(e_1 + e_2, b, wh)$ (par exemple pour raisonner à des granularités temporelles différentes, ce qui est un des avantages intéressants d'avoir un calcul sur des événements spatio-temporels). Or il est clair que dans le cas général on ne retombe pas sur une des classe de mouvement de "base", puisque rien ne garantit par exemple que les intersections seront encore connexes (par exemple si Bill rentre finalement à la Maison Blanche).

On voit donc qu'il reste à étudier plus précisément comment agencer les différents types d'informations que l'on peut manipuler avec la théorie ST afin de l'utiliser pour faire efficacement du raisonnement spatio-temporel. Nous pensons cependant avoir indiqué quelques pistes prometteuses pour une utilisation de la théorie pour faire du raisonnement qualitatif, en montrant notamment son pouvoir expressif.
Nous allons maintenant voir comment on peut reprendre le travail général effectué dans les précédents chapitres pour l'appliquer à un domaine spatio-temporel plus restreint qui pose des problèmes propres, à savoir la représentation d'itinéraires.