

Représentation dynamique de l'action au niveau opérationnel

François Guerrin¹

¹Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement, Unité de recherche Risque Environnemental lié au Recyclage, BP 20, Cedex 9, Saint-Denis F-97408 France - guerrin@cirad.fr

RÉSUMÉ : L'utilisation de modèles de simulation comme outils d'aide au management opérationnel met en avant, plus que celui de décision, le concept d'action, c'est à dire ce qui est « effectivement fait » en pratique. Nous décrivons ici un cadre permettant de modéliser l'action comme un processus discret. Les dates encadrant les réalisations de toute action correspondent à des transitions d'état quasi-instantanées dues à des événements issus d'autres processus (horloges, processus observés, autres actions) qui jouent le rôle de déclencheur ou d'inhibiteur de l'action. Toute action exerce ses effets sur des processus cibles. Une formalisation mathématique permettant la mise en oeuvre du concept d'action dans des modèles de simulation dynamique est proposée et discutée, notamment, à la lumière de la théorie de l'« action située » (Suchman, 1987).

MOTS-CLÉS : Modélisation et simulation des systèmes de production, Représentation de l'action, Simulation d'activités, Systèmes dynamiques hybrides, Logique temporelle.

1. Introduction

L'utilisation de modèles de simulation comme outils d'aide au management met en avant les concepts de décision et d'action. Bien que ces deux notions soient liées, voire parfois prises comme synonymes, nous nous focalisons ici sur l'action et sa représentation. Par « action » (ou activité) on entend ce qui est effectivement fait par un agent humain. Ce concept diffère de celui de « tâche », compris comme ce qui devrait idéalement être fait. Cette tentative théorique vise à étendre et généraliser à différents systèmes de production agricoles (exploitations, groupes d'exploitations) les capacités de représentation de l'action développées dans deux modèles de simulation dynamique de flux appliqués à la gestion d'effluents d'élevage : Magma (Guerrin, 2001), qui simule l'épandage de différents types d'effluents sur différentes parcelles sous différentes contraintes ; Approzut (Guerrin, 2004; Guerrin et Médoc, 2005), qui simule l'approvisionnement d'une unité de traitement d'effluents de multiples élevages répartis sur un territoire.

L'accent mis sur l'action est justifié, d'abord, par le caractère « ontologique » de l'activité humaine dans les systèmes de production agricoles, où l'on distingue deux types de flux de matières en interaction : les flux « agissables », principalement déterminés par l'action humaine (importation d'intrants, circulation de produits intermédiaires au sein de l'exploitation, exportation de produits finis), et les flux « biophysiques », principalement déterminés par des causes naturelles (production de biomasse végétale et animale, pertes vers l'environnement). Il se justifie, d'autre part, par notre conception de l'utilisation de modèles en aide à la décision. Ecartant l'approche selon laquelle des décisions toutes faites doivent être fournies à l'utilisateur, nous concevons le modèle comme un outil destiné à faciliter sa réflexion, son expérimentation et son apprentissage sur ses propres pratiques, et non la prescription de solutions présumées « optimales » (Mc Cown, 2002). Notre objectif est de parvenir à simuler les actions envisagées par le manager et leurs conséquences, afin de l'aider à comparer des alternatives de gestion. Le modèle n'a donc pas besoin de représenter la dimension cognitive du

processus de décision, mais, plutôt, ce qui est (ou sera) fait, dans la pratique, par l'acteur considéré (Clancey, 2002).

Nous décrivons ci-après un cadre de modélisation de l'action développé avec le logiciel Vensim basé sur la dynamique des systèmes. Le formalisme utilisé pour représenter l'action est illustré, par souci de clarté, sur des exemples arbitraires, néanmoins représentatifs de problèmes rencontrés dans les systèmes de production agricoles (des références sont cependant faites à des problèmes réels expérimentés avec les modèles Magma et Approzut). La comparaison de cette approche avec les théories de l'action planifiée et située et la théorie d'Allen de l'action et du temps (Allen, 1984) clôturera l'article.

2. Représentation générale de l'action

2.1. Réalisation singulière d'une action

Toute action A est représentée par une fonction binaire du temps $s_A(t)$ sujette à la condition $C_A(t)$, proposition logique dépendant du temps :

$$s_A(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } C_A(t) \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (1)$$

Une action est donc décrite comme un processus dynamique par les valeurs 1 (l'action est réalisée quand $C_A(t)$ est vraie) ou 0 (l'action est inhibée quand $C_A(t)$ est fausse). Ce processus définit une succession d'intervalles de temps réalisant une partition du domaine temporel. Tout intervalle sur lequel $s_A(t) = 1$ représente une réalisation de A . Les bornes de cet intervalle sont déterminées par des transitions d'état causées par des événements quasi-instantanés résultant d'un changement dans l'évaluation de $C_A(t)$ (figure 1) : transition $0 \rightarrow 1$, la réalisation de A démarre à $t = t_A^-$; transition $1 \rightarrow 0$, elle finit à $t = t_A^+$.

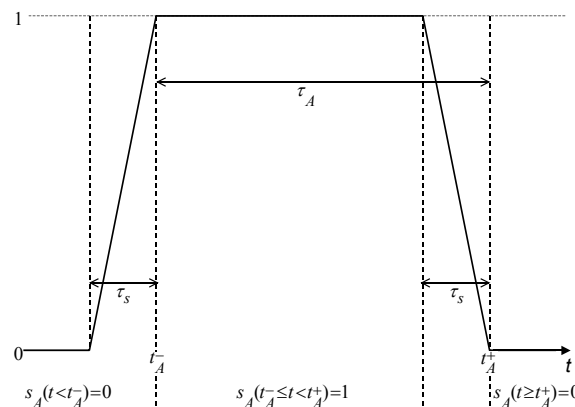


Figure 1. Réalisation singulière d'une action sur un intervalle de temps borné par sa date de début et de fin (τ_A : durée ; τ_s : pas de temps de simulation).

L'étendue temporelle d'une réalisation d'action est l'intervalle semi-ouvert $[t_A^-, t_A^+]$ de durée $\tau_A = t_A^+ - t_A^-$. La durée d'un événement est donc la valeur τ_s du pas de temps de simulation qui doit être soigneusement choisi en fonction de la correspondance entre le temps simulé et le temps réel. Les actions doivent également être définies avec une granularité de représentation compatible avec les objectifs du modèle, notamment en termes d'effets attendus de leur réalisation. La transformation d'une action en son effet est faite par le produit de sa fonction d'état

avec un paramètre, par exemple un flux de base (temps de travail disponible par jour dans Magma ; débit de remplissage d'une citerne dans Approzut). Ce flux peut être variable, afin de représenter la progressivité de l'effet. La fonction correspondante peut être choisie conditionnellement à l'état de certains processus, afin de tenir compte de la modification de l'effet de l'action selon son contexte de réalisation. Un délai entre la réalisation de l'action et la manifestation de son effet peut éventuellement être introduit.

2.2. Bornes temporelles de réalisation d'action

Les paramètres temporels d'une action A sont des fonctions du temps utilisées pour rendre compte de ses réalisations : dates de début $t_A^-(t)$, dates de fin $t_A^+(t)$, et durées $\tau_A(t)$. Les dates de début (resp. de fin) des réalisations de A sont déterminées par les valeurs du temps pour lesquelles une condition $P_A^-(t)$ (resp. $P_A^+(t)$) est satisfaite pour déclencher (resp. terminer) l'action :

$$t_A^\pm(t) = \begin{cases} t & \text{si } P_A^\pm(t) \\ t_A^\pm(\max(0, t - \tau_s)) & \text{sinon} \end{cases} \quad (2)$$

(\pm indique les variables correspondant au début ($-$) ou à la fin ($+$) d'une réalisation d'action ; τ_s est le pas de temps de simulation).

$P_A^\pm(t)$ est, comme $C_A(t)$, une proposition évaluée à 0 ou 1. La distinction de ces propositions permet de différencier entre les conditions de déclenchement ou de fin d'une action (Eq. (2)) et celles de sa continuation (Eq. (1)). $P_A^\pm(t)$ peut être spécifiée par rapport à un processus quelconque $X(t)$ générant l'événement déclenchant du début ou de la fin d'une réalisation d'action (par exemple, $X(t) \leq 1$). Aussi longtemps que $P_A^\pm(t)$ n'est pas satisfaite, t_A^\pm demeure constante (i.e. égale à sa valeur au pas de temps précédent). Dès qu'un événement déclenchant est détecté (l'évaluation de $P_A^\pm(t)$ passe de 0 à 1) une date est calculée qui demeure à la même valeur jusqu'à ce qu'un nouvel événement se produise. Ainsi, $t_A^\pm(t)$ décrit une évolution en escalier dont la valeur à un instant est la date de l'événement qui précède immédiatement, i.e. $\forall t, t_A^\pm(t) \leq t$ (cf. figure 2). Ceci permet de doter le système dynamique d'une « mémoire » pour raisonner sur l'action passée.

Dans un contexte dynamique, trois cas d'utilisation de l'équation (2) peuvent apparaître :

1. les dates de début t_A^- et de fin t_A^+ sont déterminées par des événements distincts ;
2. la date de début t_A^- est déterminée par un événement et la date de fin déduite de sa durée (τ_A) : $t_A^+ = t_A^- + \tau_A$;
3. la date de fin t_A^+ est déterminée par un événement et la date de début déduite de sa durée : $t_A^- = t_A^+ - \tau_A$.

Dans le cas 1, la durée de l'action en cours est indéfinie car sa date de fin dépend d'un événement non anticipé (cf. § 3.2) : l'action se réalise dès que $P_A^-(t) = 1$ jusqu'à ce que $P_A^+(t) = 1$. Dans le cas 2, la durée d'action est définie, au plus tard, à sa date de début (cf. § 3.1). L'action se réalise dès que $P_A^-(t) = 1$ jusqu'à ce que $P_A^+(t) \equiv (t = t_A^- + \tau_A) = 1$. Dans le cas 3, symétrique

(non illustré ici), connaissant la date de fin et la durée anticipées, on en déduit la date de début. L'action se réalise dès que $P_A^-(t) \equiv (t = t_A^+ - \tau_A) = 1$ jusqu'à ce que $P_A^+(t) = 1$.

La condition générale de réalisation de l'action A (cf. Eq. (1)), nonobstant la prise en compte possible d'autres conditions, est basée sur les dates de début et de fin calculées par l'équation (2) :

$$C_A(t) \equiv (t_A^-(t) > t_A^+(t)) \quad (3)$$

L'action se réalise dès que sa condition de déclenchement est satisfaite (à sa date de début) et se poursuit tant qu'une nouvelle date de fin correspondant à un nouvel événement n'est pas déterminée (en cours de réalisation d'action, la valeur de $t_A^+(t)$ est la date de fin de la réalisation précédente). Dans les cas 2 et 3, où une date est déduite de l'autre et de la durée, une condition plus simple, mais moins générale, peut être utilisée : $C_A(t) \equiv (t_A^- \leq t < t_A^+)$.

2.3. Retard de réalisation de l'action

Afin de tenir compte de retards et d'aléas inévitables en situations réelles, il est nécessaire de prévoir explicitement un délai entre l'instant où l'événement déclenchant survient et celui de début ou de fin effective de l'action. Cela revient à introduire un retard $\tau_A^\pm \geq 0$ sur le processus $X(t)$ sur lequel est détecté l'événement déclenchant :

$$X_\tau(t) = X(\max(0, t - \tau_A^\pm)) \quad (4)$$

Dans le cas 1, la durée de réalisation d'action résultant de conditions de début et de fin indépendantes, les délais τ_A^- et τ_A^+ peuvent être déterminés indépendamment. Dans le cas 2, comme la date de fin est déduite de la date de début, si t_A^- est produite avec un délai ($\tau_A^- > 0$), ce délai sera répercuté sur t_A^+ et la durée prévue conservée. Dans le cas 3, comme t_A^- est déduite de $t_A^+ > t_A^-$:

- si $\tau_A^+ > \tau_A^-$, t_A^- peut être déterminée à temps et la durée d'action prévue est conservée ;
- si $0 \leq \tau_A^+ < \tau_A^-$, t_A^- ne peut pas être déterminée à temps et la durée d'action est réduite au délai τ_A^+ ; notamment, lorsque $\tau_A^+ = 0$, alors $\tau_A^- = 0$ et l'action n'est pas réalisée.

3. L'action fonction de processus externes

3.1. L'action fonction de dates explicites

On se place ici dans le cas où les bornes temporelles de réalisation d'une action peuvent être explicitement modélisées. Dans ce cas, les conditions $P_A^\pm(t)$ permettant de calculer les dates de début et de fin (Eq. (2)) peuvent dépendre :

- de tables, incorporant un calendrier constitué de dates ou de périodes (e.g. durée d'inter-récoltes dans Magma ; congés du personnel dans Approzut) ;
- d'« horloges », codées par une fonction périodique, permettant de répéter l'action dans le temps.

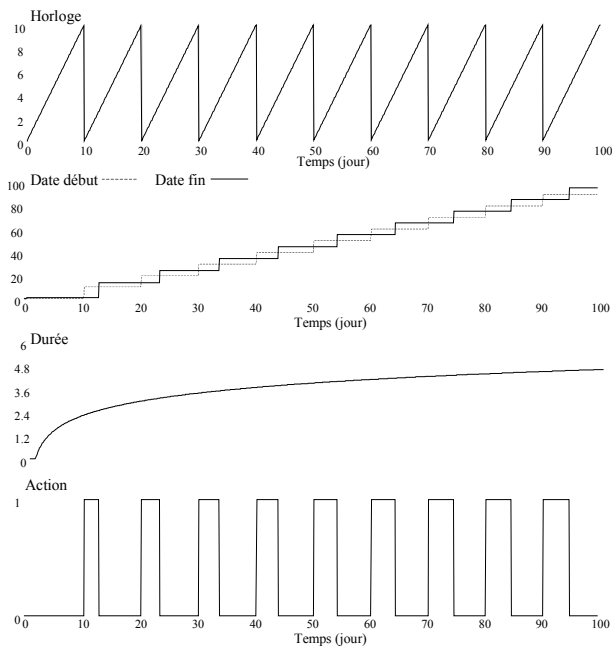


Figure 2. Action déclenchée par une horloge de période fixe à des durées croissantes.

La figure 2 donne un exemple de déclenchement d'action basée sur une horloge définie par :

$$\mu_c(t) = t - \tau_c \left\lfloor \frac{t}{\tau_c} \right\rfloor \quad (5)$$

où t est le temps, $\tau_c > 0$ la période d'horloge (ici, 10 jours), et $\lfloor \bullet \rfloor$, la fonction plancher rendant le plus grand entier inférieur ou égal à la valeur de son argument. La condition de déclenchement de l'action est satisfaite, dans cet exemple, quand la fonction d'horloge égale 0 avec un délai $\tau_A^- = 0.5$ jours . Par l'équation (2) on détermine la date de début d'action :

$$t_A^-(t) = \begin{cases} t & \text{si } P_A^-(t) \equiv (\mu_c(\max(0, t - 0.5)) = 0) \\ t_A^-(\max(0, t - \tau_s)) & \text{sinon} \end{cases} \quad (6)$$

La durée d'action, prise ici variable, est donnée par une fonction logarithmique du temps :

$$\tau_A(t) = \ln(\max(1, t)) \quad (7)$$

La date de fin est déduite de la date de début et de la durée par l'équation (2) par la condition :

$$P_A^+(t) \equiv (t = t_A^-(t) + \tau_A(t)) \quad (8)$$

Selon l'équation (3), l'action A est réalisée lorsque $t_A^-(t) > t_A^+(t)$ (cf. figure 2).

3.2. L'action fonction d'observations

A l'inverse du cas traité dans le paragraphe précédent, on suppose ici que l'on ne dispose pas d'une modélisation explicite des bornes temporelles de réalisation de l'action, mais que celles-ci dépendent de l'observation de processus quelconques. Dans ce cas, les dates de début ou de fin de réalisation d'action sont déclenchées de façon réactive.

Par exemple, considérons $V(t)$, une variable décrivant l'évolution d'un stock, classiquement définie comme l'intégration sur le temps de son taux de variation. Prenons le flux d'entrée, discontinu, comme déterminé par l'action A décrite ci-dessus (§ 3.1) conjointement à un débit

de base de $10 \text{ m}^3/\text{jour}$, soit : $q_i = 10 \times s_A(t)$. Supposons que l'on souhaite contrôler le stock par l'intermédiaire d'une action B s'exerçant uniquement sur le flux de sortie, $q_o = 10 \times s_B(t)$, de telle sorte que le niveau de stock soit compris entre un seuil supérieur et un seuil inférieur, $V_{\text{sup}} > V_{\text{inf}}$, en utilisant la politique suivante : B est déclenchée dès que $V(t) \geq V_{\text{sup}}$ et persiste jusqu'à ce que $V(t) \leq V_{\text{inf}}$. En utilisant l'équation (2), et en supposant un délai de réalisation de l'action nul ($\tau_A^\pm = 0$), les dates de début et de fin de B sont données par :

$$t_B^-(t) = \begin{cases} t & \text{si } (V(t) \geq V_{\text{sup}}) \\ t_B^-(\max(0, t - \tau_s)) & \text{sinon} \end{cases} \quad (9)$$

$$t_B^+(t) = \begin{cases} t & \text{si } (V(t) \leq V_{\text{inf}}) \\ t_B^+(\max(0, t - \tau_s)) & \text{sinon} \end{cases} \quad (10)$$

Par l'équation (3), la condition de réalisation de B est : $C_B(t) \equiv (t_B^-(t) > t_B^+(t))$ (cf. figure 3).

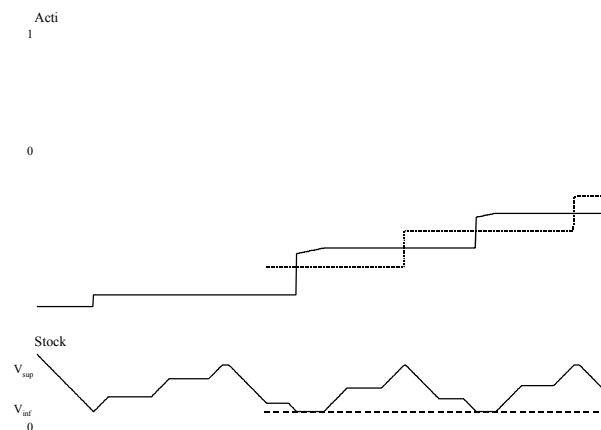


Figure 3. Contrôle en feed-back d'un stock par une action B selon deux seuils, haut et bas.

Le niveau de stock est ici la seule variable déterminant l'action. La prise en compte d'autres déterminants (disponibilité de ressources, contraintes temporelles, conditions d'environnement, autres actions, etc.) est possible en complexifiant les conditions de réalisation de l'action. Par exemple, dans Magma, la détermination de la date d'épandage d'un effluent sur une culture est soumise à une conjonction de conditions définissant la situation permettant de déclencher l'action d'épandre : toute action préalable est achevée (e.g. la récolte) ; un délai de latence s'est écoulé depuis ; on est dans la fenêtre temporelle autorisant l'épandage pour la culture considérée (e.g. juillet-décembre pour la canne à sucre) ; une ressource nécessaire n'est pas déjà utilisée (e.g. tracteur et tonne à lisier) ; la pluviométrie cumulée des 3 derniers jours est inférieure à 20 mm ; une quantité minimale d'effluent est en stock (e.g. capacité de transport de 6 m^3) ; l'épandage nécessite une durée supérieure à 1h 20 min. La poursuite d'une action d'épandage déjà en cours sera soumise à des variantes des conditions énumérées ci-dessus avec un paramétrage différent (e.g., pluviométrie du jour courant $\leq 5\text{mm}$) et une condition spécifique ajoutée : le temps de travail alloué à l'action, compte tenu de sa priorité, n'est pas épuisé. Dans le cas où cette conjonction de conditions n'est plus satisfaite pendant la réalisation de l'action, elle est alors interrompue.

3.3. L'action fonction d'autres actions

On se place ici dans le cas où l'on veut dériver une action E d'une autre action D , donnée, de telle sorte que D et E satisfassent certaines contraintes temporelles. Pour cela, nous utilisons les fameuses relations d'Allen (1984). Parmi ces 13 relations, on traite uniquement des 8 qui

ont un sens dans un contexte dynamique où E ne peut pas se réaliser avant D . Les 7 relations inverses (autres que l'égalité) pourraient être construites dans le cas où, étant donné E , on veuille dériver D . Notons que les relations d'Allen sont mutuellement exclusives (deux relations ne peuvent être satisfaites simultanément) et, étant données deux réalisations d'action quelconques, il existe toujours une relation d'Allen qui peut être satisfaite entre elles.

Par l'équation (2) on peut déterminer, a posteriori, les dates de début et de fin de réalisation de D . La date de début de D correspond à l'instant où D est réalisée alors qu'elle ne l'était pas au pas de temps précédent :

$$P_D^-(t) \equiv (s_D(t) = 1) \wedge (s_D(t - \tau_s) = 0) \quad (11)$$

La date de fin de D correspond à l'instant où D n'est plus réalisée alors qu'elle l'était au pas de temps précédent :

$$P_D^+(t) \equiv (s_D(t) = 0) \wedge (s_D(t - \tau_s) = 1) \quad (12)$$

La date de début de E , t_E^- , peut alors être déterminée par l'équation (2) à partir de t_D^- , la date de début de D , et de $\tau_{D,E}^- \geq 0$, le délai après lequel le début de E est possible par rapport au début de D , en utilisant la condition :

$$P_E^-(t) \equiv (t = t_D^- + \tau_{D,E}^-) \quad (13)$$

La date de fin de E , connaissant sa durée de réalisation τ_E , peut être déduite de t_E^- par :

$$P_E^+(t) \equiv (t = t_E^- + \tau_E) \quad (14)$$

E peut alors être générée en utilisant la condition de l'équation (3) : $C_E(t) \equiv (t_E^-(t) > t_E^+(t))$.

Les contraintes permettant de déterminer le retard de E et sa durée en fonction de D (i.e. $\tau_{D,E}^-$ et τ_E à utiliser dans les équations (13) et (14)), de telle sorte que ces deux actions satisfassent les relations d'Allen, sont données au tableau 1.

Tableau 1. Contraintes temporelles pour dériver une action E d'une action D satisfaisant les relations d'Allen (τ_D, τ_E : durées d'action ; $\tau_{D,E}^-$: délai entre D et E).

Relation	Diagramme	Contrainte
DURING(E, D)		$(0 < \tau_{D,E}^- < \tau_D) \wedge (\tau_E < \tau_D - \tau_{D,E}^-)$
STARTS(E, D)		$(\tau_{D,E}^- = 0) \wedge (\tau_E < \tau_D)$
STARTS(D, E)		$(\tau_{D,E}^- = 0) \wedge (\tau_E > \tau_D)$
FINISHES(E, D)		$(0 < \tau_{D,E}^- < \tau_D) \wedge (\tau_E = \tau_D - \tau_{D,E}^-)$
EQUAL(D, E)		$(\tau_{D,E}^- = 0) \wedge (\tau_E = \tau_D)$
BEFORE(D, E)		$(\tau_{D,E}^- > \tau_D)$
OVERLAPS(D, E)		$(0 < \tau_{D,E}^- < \tau_D) \wedge (\tau_E > \tau_D - \tau_{D,E}^-)$
MEETS(D, E)		$(\tau_{D,E}^- = \tau_D)$

Des « plans » (entendus ici au sens large d'ensembles d'actions explicitement coordonnées) peuvent être spécifiés et simulés en utilisant les relations d'Allen décrites par les contraintes

du tableau 1. Voici, par exemple, un plan composé de 5 actions : $P=\{D, E, F, G, H\}$. Etant donnée une action D (déclenchée par une horloge comme dans l'exemple de la figure 2), les actions E à H peuvent être spécifiées directement ou transitivement par :

- E : DURING(E,D)
- F : STARTS(E,F) \wedge OVERLAPS(D,F)
- G : FINISHES(G,F) \wedge MEETS(E,G)
- H : BEFORE(G,H)

Le plan ainsi spécifié en cascade peut être simulé ; il se répète au cours du temps sur la base de la période d'horloge de l'action D (figure 4).

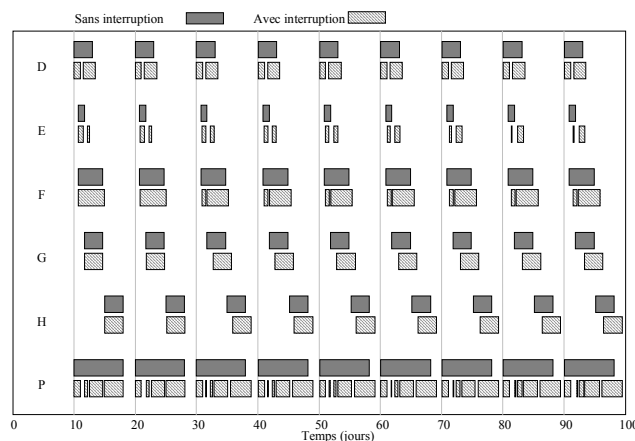


Figure 4. Exécution cyclique d'un plan $P=\{D, E, F, G, H\}$ spécifié par des relations d'Allen avec ou sans interruption (représentation par diagramme de Gantt)

L'introduction d'une interruption au cours de l'exécution de D (fractionnant ses réalisations en deux périodes) se répercute sur les réalisations des autres actions : en fractionnant E et F et en introduisant un délai pour G et H (figure 4). Du fait des décalages temporels introduits, certaines relations sont conservées pleinement (DURING, BEFORE) ou partiellement (STARTS, MEETS, OVERLAPS), alors qu'une autre ne l'est pas (FINISHES). En présence d'interruptions, les réalisations d'actions peuvent être soit annulées, recommencées, ou poursuivies, en conservant, dans ce dernier cas, leur durée totale prévue (comme dans l'exemple de la figure 4). La durée de réalisation de chaque action est conservée au moyen d'un contrôleur en feedback local, défini par une fonction binaire comparant la durée de la réalisation en cours avec sa durée prévue. Par exemple, le contrôleur de durée de F est donné par :

$$u_F(t) = \begin{cases} 1 & \text{si } \int_0^t [s_F(t) - s_F(\max(0, t - \tau_{cD}))] dt < \tau_F \\ 0 & \text{sinon} \end{cases} \quad (15)$$

où τ_{cD} est la période d'horloge de D . L'intégrale définie calcule la durée courante de F qui est contrôlée par sa fonction d'état $s_F(t)$ (Eq. (1)) en utilisant comme condition la conjonction $C_F(t) \wedge (u_F(t) = 1)$, où $C_F(t)$ est la condition de réalisation de F sans interruption : F s'arrête lorsque sa durée réelle devient égale à la durée prévue τ_F .

4. Discussion et conclusions

Le cadre de modélisation présenté ici satisfait à de nombreuses exigences jugées nécessaires pour représenter l'action par Allen (1984), Sierhuis (2001) et Grüninger et Pinto (1995), bien que certains aspects manquent encore. Utilisant une représentation basée sur les notions d'événement et de processus, il est fortement fondé sur le temps ; la progression du temps n'étant pas dirigée par les événements le distingue, cependant, des systèmes à événements discrets classiques. Ces « occurrences » de phénomènes sont caractérisées, conformément à la théorie d'Allen, par les intervalles de temps sur lesquels elles se réalisent. Il est ainsi possible de représenter des situations complexes et de raisonner sur des propositions, des événements, des actions et des plans, qualifiés temporellement de façon absolue ou relative. La simulation d'actions séquentielles et parallèles ne pose pas de problème. Les actions de type « temps-morts », non explicitement spécifiées dans une tâche particulière mais implicites dans toute activité (e.g. attendre, discuter, se reposer,...), peuvent être traitées de la même façon que n'importe quelle action. On peut également traiter l'interruption et la reprise d'une action, l'introduction de délais dans son exécution ou la manifestation de ses effets, gérer les concurrences entre actions (par des priorités non explicitées ici), et évaluer leurs conséquences sur l'organisation d'un système, et ce, dans les cas déterministe et stochastique (cf. Guerrin, 2001; Guerrin et Médoc, 2005).

Entre autres avantages, cette approche basée sur un cadre dynamique facilite la connexion de modèles de simulation de l'action avec les modèles classiquement utilisés pour représenter les processus biophysiques à l'œuvre dans les systèmes de production agricoles. De ce point de vue, elle se différencie des approches statiques, plus conçues pour raisonner sur l'action déjà faite que pour simuler l'action en train de se faire, et basées sur des variantes de la logique des prédicats : calcul de situations (Grüninger et Pinto, 1995) ; logique temporelle (Allen, 1984) ou calcul d'événements (Kowalski et Sergot, 1986). Néanmoins, des équivalences peuvent être trouvées (cf. l'utilisation des relations d'Allen, § 3.3). Toute action ou propriété d'un autre processus (e.g. une condition d'action) est représentée par une fonction binaire du temps. L'action peut ainsi être vue comme une propriété de l'agent qui la réalise (être actif), de la même façon qu'une propriété permettant de qualifier, par exemple, le niveau d'un stock par rapport à un seuil. Cette formalisation binaire commune peut donner lieu à une équivalence avec le calcul des propositions ou des prédicats dans un cadre de simulation dynamique.

Notre approche se différencie également de celle qui postule la centralité d'un plan selon laquelle : tout acteur possède un « but », conçu comme un état du monde à atteindre ; agir consiste à exécuter une séquence d'actions prédéterminée (le plan), comme un programme, de façon plus ou moins flexible. Cette approche inspire le modèle hiérarchique proposé par Martin-Clouaire et Rellier (2005) pour la simulation de systèmes de production agricoles : un module « manager », représentant l'agriculteur, « décide » les actions à réaliser en fonction d'un ordonnancement d'actions fourni en entrée du modèle, d'événements perçus, de contraintes d'éligibilité et de règles d'adaptation ; un « système opérant » alloue les ressources nécessaires et « exécute » les actions préconisées par le manager ; ces actions manifestent leurs effets sur le système (biophysique) piloté. Or, cette théorie « délibérative », où l'action est la conséquence d'une prise de décision vue comme une résolution de problème, a été critiquée par de nombreux auteurs (Suchman, 1987 ; Johnston et Brennan, 1996 ; Clancey, 2002). L'analyse de l'activité humaine au niveau opérationnel montre en effet que, si le plan est une représentation fréquemment utilisée pour décrire l'action ex-ante ou ex-post, l'action réelle (en train de se faire) ne repose que très partiellement sur l'utilisation de plans qui, s'ils existent, sont utilisés comme ressources parmi d'autres : le « but », s'il est explicité, est évolutif et se construit en cours d'action ; agir consiste à mettre en œuvre une grande variété de comportements ad

hoc, en réponse aux situations dont participe l'acteur (routines, schémas culturels ou adaptatifs,...), ne nécessitant ni représentation, ni raisonnement, ni prise de décision. Manager consiste à structurer l'environnement de l'action pour induire et faciliter le comportement adapté des acteurs en évitant, autant que possible, les situations où ils doivent recourir à une prise de décision.

Le cadre de modélisation présenté dans cet article a donc pour ambition de contribuer à cette théorie de l'action située, en proposant un formalisme simple pour représenter et analyser la structure de l'action et comprendre son fonctionnement en situations réelles. Dans cette perspective :

- toute action est spécifiée comme un processus dynamique, de façon locale, par rapport à l'anticipation d'échéances (calendriers) ou à son contexte immédiat (processus externes, autres actions), sans faire appel à un plan d'ensemble centralisé, bien que des groupes d'actions explicitement coordonnées, interprétables comme des plans partiels, puissent aussi être mis en oeuvre ;
- les conditions de début, de fin ou de réalisation d'action permettent de représenter des situations complexes ;
- l'organisation globale d'un système d'actions (contrôle, coordination) émerge de l'application de règles locales ou implicites (e.g. médiation par un artefact, priorités).

5. Références bibliographiques

- Allen J., (1984) "Towards a general theory of action and time", *Artificial Intelligence*, vol. 23, p. 123-154.
- Clancey W., (2002) "Simulating activities: relating motives, deliberation, and attentive coordination", *Cognitive Systems Research*, vol. 3, p. 471-499.
- Grüniger M., Pinto J.A., (1995) "A theory of complex actions for enterprise modelling", *Working Notes AAAI Spring Symposium Series 1995, Extending Theories of Action: Formal Theory and Practical Applications*, Stanford, USA.
- Guerrin F., (2001) "Magma: A model to help manage animal wastes at the farm level", *Computers & Electronics in Agriculture*, vol. 33, n°1, p. 35-54.
- Guerrin F., (2004) "Simulation of stock control policies in a two-stage production system. Application to pig slurry management involving multiple farms", *Computers & Electronics in Agriculture*, vol. 45, n°1-3, p. 27-50.
- Guerrin F., Médoc J.-M., (2005) "A simulation approach to evaluate supply policies of a pig slurry treatment plant by multiple farms", *Proceedings of the Efito-WCCA Joint Conf. on IT*, Vila Real, Portugal.
- Johnston R.B., Brennan M., (1996) "Planning or organizing: the implications of theories of activity for management of operations", *Omega, International Journal of Management Science*, vol. 24, n°4, p. 367-384.
- Kowalski R., Sergot M., (1986) "A logic-based calculus of events", *New Generation Computing*, vol. 4, p. 67-95.
- Martin-Clouaire R., Rellier J.-P., (2005) "Representing and interpreting flexible production management plans", *Proceedings of the Int. Conf. on Conceptual Modeling and simulation (CMS)*, Marseille, France.
- Mc Cown R.L., (2002) "Changing systems for supporting farmers' decisions: problems, paradigms and prospects", *Agricultural Systems*, vol. 74, n°1, p. 179-220.
- Sierhuis M., (2001) "*Modeling and simulating work practice*", PhD thesis, SIKS Dissertation Series N° 2001-10, University of Amsterdam, The Netherlands.
- Suchman L.A., (1987) "*Plans and situated actions: the problem of human-machine communication*", Cambridge University Press.