

# ETVO: librairie C++ pour la description des Graphes d'Événements Temporisés valués

B.Cottenceau<sup>1\*</sup>, L.Hardouin<sup>1</sup>, and J.Trunk<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> LARIS, Université d'Angers, France

<sup>2</sup> TU Berlin, Allemagne.

## Résumé

La librairie ETVO est destinée aux calculs sur des expressions rationnelles constituées sur un ensemble d'opérateurs  $\{\gamma^n, \delta^t, \mu_m, \beta_b, \Delta_T\}$  utilisées pour décrire le comportement dynamique de certains systèmes à événements discrets temporisés. Sont concernés par cette approche : les Graphes d'Événements Temporisés (GET) avec arcs valués et les GET avec temps de séjour cycliques. Pour ces deux classes de systèmes, la librairie ETVO permet le calcul de transfert et la synthèse de contrôleurs.

## 1 Contexte

Les systèmes à événements discrets temporisés n'impliquant que des phénomènes de synchronisation, de décalage temporel et événementiel, peuvent être décrits au moyen de modèles  $(\max, +)$ -linéaires. Il s'agit par exemple des systèmes décrits par des Graphes d'Événements Temporisés (GET) ordinaires. On adopte ici l'approche introduite dans [1] où ces phénomènes dynamiques sont décrits au moyen des opérateurs élémentaires suivants :

$\gamma^n$  : décalage de  $n$  unités dans la numérotation des événements  
 $\delta^t$  : décalage temporel de  $t$  unités de temps

Dans ce contexte, le comportement des GET ordinaires peut être représenté sous la forme

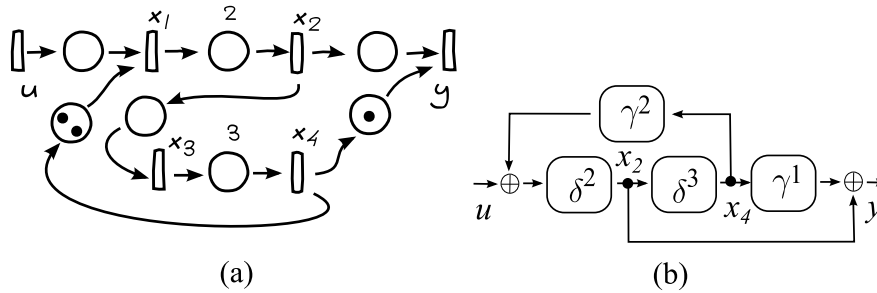


FIGURE 1 – Schéma-bloc associé à un GET ordinaire

d'expressions rationnelles, c'est-à-dire impliquant un nombre fini de synchronisations et de compositions d'opérateurs  $\gamma^n$  et  $\delta^t$ . A titre d'exemple, le comportement du GET donné dans la Figure 1 (a) peut également s'exprimer sous la forme du schéma-bloc de la Figure 1 (b). Les temps de séjour sur les places conduisent à des décalages temporels entre les tirs des transitions,

\*Le développement de la librairie ETVO a été soutenu par le RFI Atlanstic 2020

et les marques initiales conduisent à un décalage entre les numéros de tir. Enfin, une transition ayant plusieurs places en entrée conduit à une synchronisation (notée  $\oplus$ ). De ce schéma-bloc se déduit le transfert entrée-sortie du système qui est ici donné par l'expression rationnelle<sup>1</sup>  $H = \delta^2(\gamma^2\delta^3\delta^2)^* \oplus \gamma^1\delta^3\delta^2(\gamma^2\delta^3\delta^2)^*$ .

La librairie<sup>2</sup> ETVO ((Event|Time)-Variant Operators) est dédiée à la manipulation d'expressions rationnelles impliquant  $\gamma^n, \delta^t$  ainsi que les opérateurs  $\mu_m$  et  $\beta_b$  décrivant la duplication (multiplication) et le regroupement (batch) d'événements. Ces nouveaux opérateurs sont nécessaires à la modélisation des GET avec des arcs valués [2]. Par exemple, le comportement dynamique du GET valué de la Figure 2 s'exprime  $G = (\beta_2 \oplus \gamma^1 \beta_2 \delta^5) \delta^2 \mu_3 (\beta_3 \gamma^5 \mu_2 \beta_2 \delta^5 \delta^2 \mu_3)^* \beta_2$ . Les poids des arcs d'entrée d'une transition correspondent à des regroupements (opérateur  $\beta_b$ ), ceux des arcs de sortie à des multiplications (opérateur  $\mu_m$ ).

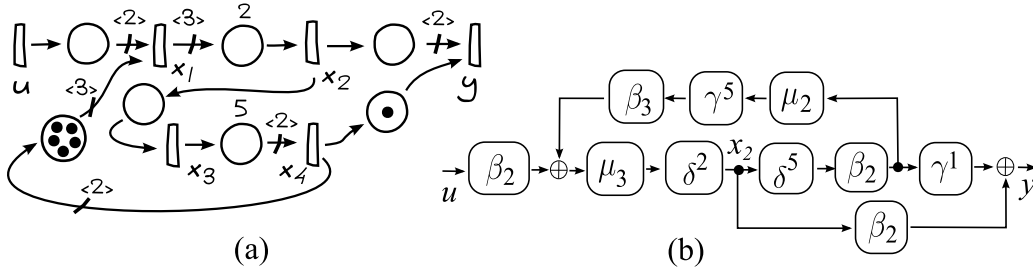


FIGURE 2 – Schéma-bloc associé à un GET valué

La librairie ETVO permet le calcul de la synchronisation, de la composition et de l'étoile de Kleene d'expressions, mais également de la résiduation du produit, ce qui est nécessaire pour la synthèse de correcteurs. Ces questions de modélisation et de contrôle sont détaillées dans [5] ainsi que dans [3].

**Remarque 1.** La librairie ETVO traite aussi les GET avec des temps de séjour cycliques. Un opérateur temporel noté  $\Delta_T$ , qui opère une synchronisation sur les dates multiples de  $T$ , est alors nécessaire.

## 2 Exemple

Pour bénéficier de toutes les fonctionnalités de ETVO, il faut écrire des programmes d'utilisation en C++. ETVO est également fourni avec un interpréteur de commandes rudimentaire qui utilise une syntaxe qui ne requiert aucune connaissance<sup>3</sup> en C++. On décrit ci-dessous comment les expressions de  $H$  (GET de la Figure 1) et de  $G$  (Figure 2) peuvent être saisies et ramenées sous une forme canonique dans cet interpréteur.

**Syntaxe de l'interpréteur :** d2 pour l'opérateur  $\delta^2$ , g3 pour  $\gamma^3$ , m2 pour  $\mu_2$  et b4 pour  $\beta_4$ . La synchronisation d'opérateurs est notée +, la composition par le point (.) et l'étoile de Kleene [expression]\*. Les résultats des calculs peuvent être stockés dans des variables dont

1. A noter que pour les GET ordinaires la librairie logicielle MinMaxGD [4] était déjà disponible pour ce type d'expressions.

2. ETVO est un ensemble de classes C++.

3. Les sources C++ de l'interpréteur doivent toutefois être compilés une fois par l'utilisateur.



```

ETVO = (Event|Time)-Variant Operators [Basic calculator]

->EA=eps(4,4)
->EB=eps(4,1)
->EC=eps(1,4)
->EB(0,0)=b2
->EC(0,1)=b2
->EA=eps(4,4)
->EB=eps(4,1)
->EC=eps(1,4)
->EB(0,0)=b2
->EC(0,1)=b2
->EC(0,3)=g1
->EA(0,3)=b3.g5.m2
->EA(1,0)=d2.m3
->EA(2,1)=g0
->EA(3,2)=b2.d5
->EH=EC.[EA]*.EB
    EH(0,0)=[g3.d14]*.(m3.b4.g2+g1.m3.b4).d2+(g1.m3.b4.g2+g2.m3.b4).d7+
    (g1.m3.b4.g2+g3.m3.b4).d9+(g2.m3.b4.g2+g4.m3.b4).d14

```

Les utilisateurs intéressés par cet outil pourront obtenir les sources de la librairie ETVO, ainsi que quelques documents pour la mise en route (sous Windows et Linux), sur la page de B.Cottenceau <http://perso-laris.univ-angers.fr/~cottenceau/etvo.html>.

## Références

- [1] Guy Cohen, Pierre Moller, J-P Quadrat, and Michel Viot. Algebraic tools for the performance evaluation of discrete event systems. *Proceedings of the IEEE*, 77(1) :39–85, 1989.
- [2] Bertrand Cottenceau, Laurent Hardouin, and Jean-Louis Boimond. Modeling and control of weight-balanced timed event graphs in dioids. *IEEE Transactions on Automatic Control*, 59(5) :1219–1231, 2014.
- [3] Bertrand Cottenceau, Laurent Hardouin, and Johannes Trunk. Modèles à base d’opérateurs pour les systèmes (max,+) cycliques. In *Modélisation des Systèmes Réactifs, MSR’19*, 2019.
- [4] Laurent Hardouin, Bertrand Cottenceau, and Mehdi Lhommeau. Minmaxgd, a toolbox to handle periodic series in semiring minmax[[g,d]], 2013.
- [5] Johannes Trunk. *On the Modeling and Control of extended Timed Event Graphs in Dioids*. PhD thesis, Angers/Berlin, 2019.