

Petricab V1

Note technique synthétique

Fonctionnalité : Réseaux de Petri Stochastiques

Éditeur : SARL Cab Innovation (Toulouse)

Normes & Méthodes : Réseaux de Petri Stochastiques Généralisés (RdPSG), Simulation de Monte-Carlo, Modélisation à événements discrets, Disponibilité opérationnelle

1. Fondements et Dynamique Matricielle

L'état opérationnel du système est représenté par le vecteur de marquage instantané $M = [M(P_1), \dots, M(P_m)]^T$. La structure du réseau est entièrement définie par la matrice d'incidence W ($|P| \times |T|$) :

$$W = W^+ - W^-$$

où W^- quantifie la consommation de jetons en amont et W^+ la génération de jetons en aval. L'évolution après une séquence de tirs σ suit rigoureusement l'équation d'état formelle :

$$M_k = M_0 + W \cdot \sigma$$

2. Moteur Stochastique & Résolution Numérique

- **Architecture hybride** : Moteur compilé C++ multicoeur (PetriEngine.dll avec OpenMP) pour un traitement parallèle des trajectoires de simulation, avec repli automatique (*fallback*) en VBA pur sans rupture logicielle.
- **Distributions temporelles supportées** : Exponentielle, Weibull (β, η) , Déterministe, Normale (μ, σ) , Uniforme, Triangulaire (min, max, mode) et distributions empiriques CUMULD échantillonnées par inversion de la fonction de répartition à 10 pas.
- **Modulation stochastique par le marquage amont** : Lorsque k jetons alimentent une transition, le tirage du délai s'ajuste dynamiquement en divisant la durée moyenne par k ($\lambda_{eq} = k \cdot \lambda$), traduisant exactement le comportement de composants actifs en parallèle.
- **Primitives avancées** : Arcs inhibiteurs (W_{inhib}), arcs de test (*read-arcs*), conditions de franchissement par gardes logiques/prédicats, priorités entières de résolution de conflits et déclenchement d'actions avec mise à jour de variables d'état et d'indicateurs économiques cumulés.

3. Gabarits Paramétriques Métiers

Petricab embarque des générateurs instantanés pour les configurations SdF complexes :

1. **Fiabilité M/N avec réparateurs partagés** : arbitrage sur un pool de maintenance limité sous lois exponentielles.
2. **Redondance M/N avec stock local (S) et flux logistique (TAT)** : gestion des veilles actives/passives, temps de bascule T_{reconf} , échange standard et cycle d'atelier central.
3. **Ligne de fabrication avec magasins tampons régulés** : régulation des flux amont/aval par arcs inhibiteurs capacitifs et cadences d'usinage.
4. **Constellations satellitaires multi-plans** : prise en compte du vieillissement physique non markovien (CUMULD), maintien de seuils d'opérationnalité par plan et commande de lancements groupés sous contrainte de stock tampon orbital.

4. Indicateurs & Post-Traitement

- **Disponibilité moyenne globale $E[A]$** évaluée par intégration temporelle sur l'horizon de mission $[0, T_{max}]$ sous critère $M(P) \geq N_{min}$:

$$E[A] = \frac{1}{T_{max}} \int_0^{T_{max}} \mathbb{I}_{\{M(P_t) \geq N_{min}\}} dt$$

- **Encadrement statistique normé** : Intervalles de confiance à 90 %, 95 % ou 99 % :

$$IC = E[A] \pm z_{\alpha/2} \cdot \frac{\sigma_A}{\sqrt{N_{runs}}}$$

avec courbe de stabilisation de l'estimation en fonction des répliques.

- **Audit et validation** : Traçage chronologique complet pas-à-pas d'une trajectoire unitaire et génération vectorielle automatisée du graphe dans Excel.