

Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion

Optimisation de la qualité de la vérification fonctionnelle par analyse de mutation

**Youssef SERRESTOU, Vincent BEROULLE,
Chantal ROBACH**

**LCIS- Grenoble INP
Valence**

Plan de la présentation

Vérification
fonctionnelle

1. Présentation du contexte et de la problématique

Qualification
Fonctionnelle

2. Mesures de la qualité de la vérification fonctionnelle

Génération
de stimuli

3. Génération automatique de données de vérification

Accélération
matérielle

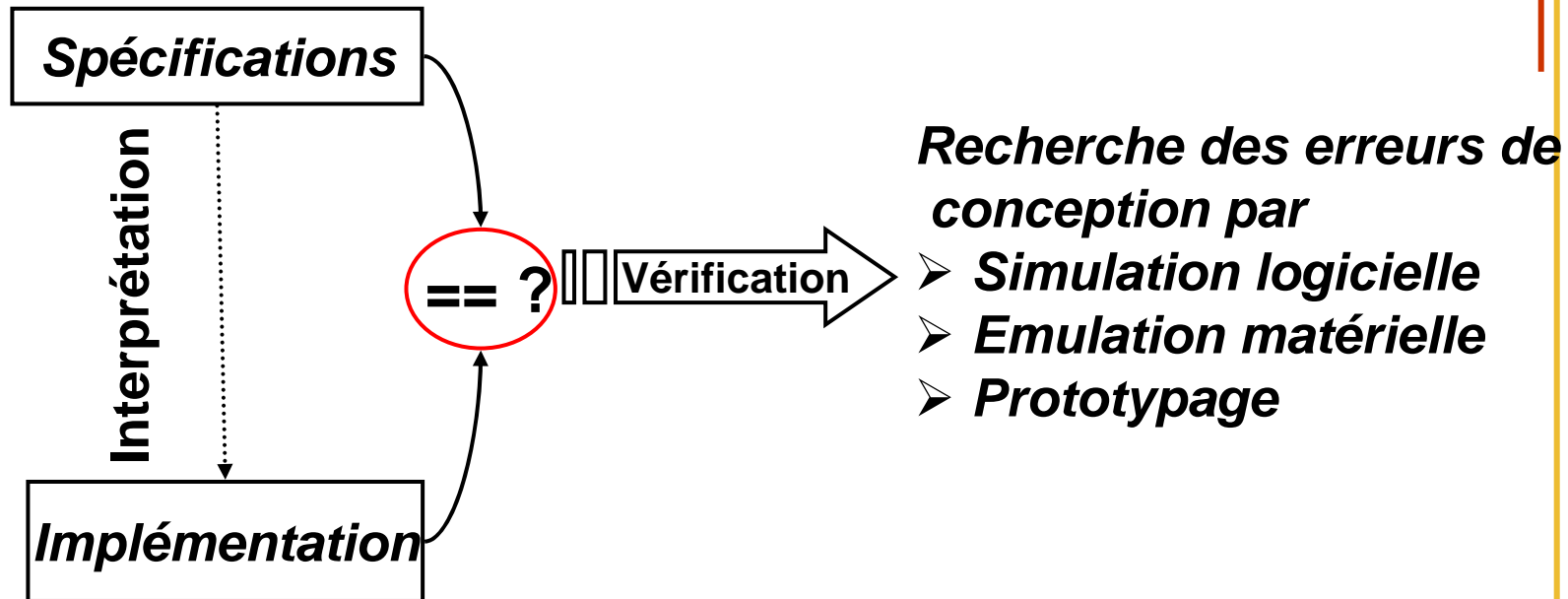
4. Accélération matérielle de l'analyse de mutation

Conclusion

5. Conclusion

Vérification fonctionnelle dynamique des implémentations HDL

- Vérification fonctionnelle
- Qualification Fonctionnelle
- Génération de stimuli
- Accélération matérielle
- Conclusion

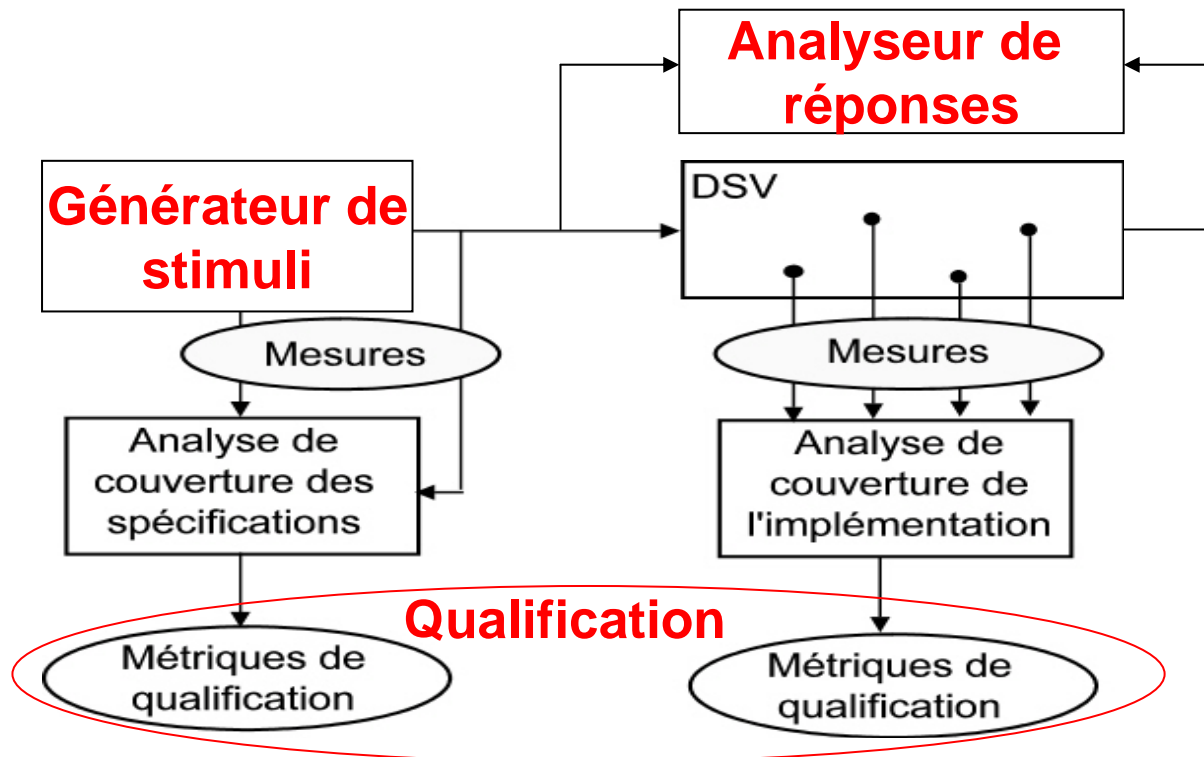


Objectifs :

- La vérification de l'implémentation consiste à établir la correspondance de celle-ci avec les spécifications

Mécanismes de la vérification dynamique

- Vérification fonctionnelle
- Qualification Fonctionnelle
- Génération de stimuli
- Accélération matérielle
- Conclusion



- **Impossibilité d'exhaustivité :**
 - Etablir une certitude dans la vérification : **contrôle de qualité**
- **Très consommatrice en temps et en effort**
 - Automatisation de la génération de stimuli
 - Accélération de la vérification

Qualification de la vérification fonctionnelle

Vérification fonctionnelle

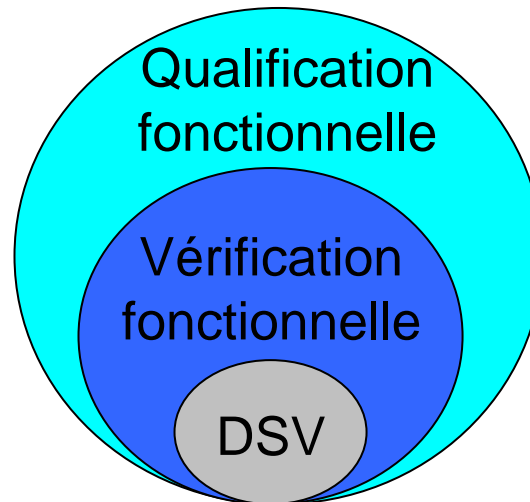
Qualification Fonctionnelle

Génération de stimuli

Accélération matérielle

Conclusion

- **La qualification fonctionnelle :**
 - Mécanisme de contrôle de la qualité de l'environnement de vérification
 - Maximise la probabilité de trouver des erreurs de conception
 - Garantit une confiance dans la conformité de la DSV à ses spécifications.
 - Une aide à l'amélioration du processus de vérification



Métriques de couverture

Vérification
fonctionnelle

➤ Métriques de qualification basées sur la couverture structurelle

- Nécessite la connaissance de l'implémentation (boite blanche)
- Distinguent éléments structurels vérifiés et non vérifiés
- Exemple : ***couverture d'instructions, de lignes, de blocs, de branches, de conditions...***

Qualification
Fonctionnelle

➤ Métriques basées sur la couverture fonctionnelle

- Ciblent les aspect sémantiques (boite noire)
- Exemple : couverture des instructions d'un CPU

Génération
de stimuli

➤ Métriques basées sur un modèle de fautes

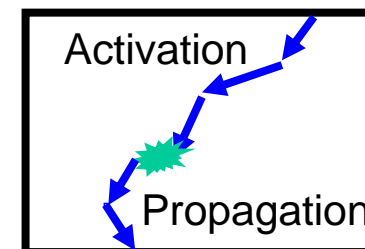
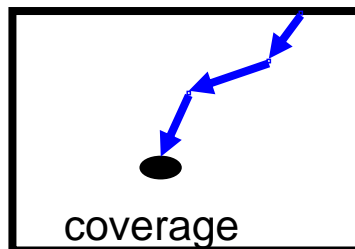
- Injection de fautes dans l'implémentation
- Evaluation de la capacité de l'environnement de vérification à détecter les fautes injectées
- Exemple : ***Test par mutation, utilisation de tags, bit flipping***

Accélération
matérielle

Conclusion

Métriques de qualification fonctionnelle

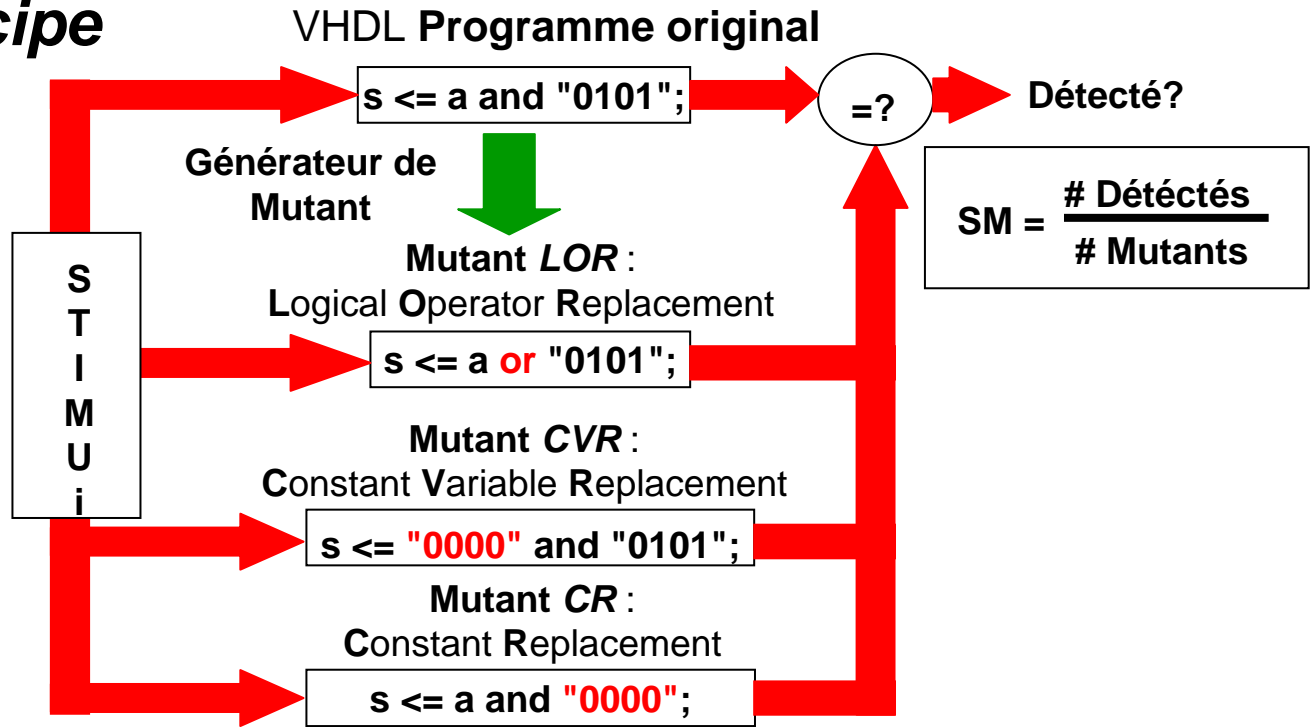
- **Les métriques basées sur la couverture**
 - Ne garantissent pas la détection des erreurs
 - Ne sont pas corrélées avec les erreurs de conception
- **Les métriques basées sur un modèle de fautes**
 - Assurent l'activation, la propagation et la détection des fautes injectées
 - Maximisent la probabilité de détecter certaines classes d'erreurs de conception



Métriques de couverture vs Injection de fautes

Qualification basée sur la technique de mutation

1. Principe



2. Hypothèses de base

1. Programmeur compétant
2. Couplage de fautes

Vérification fonctionnelle

Qualification Fonctionnelle

Génération de stimuli

Accélération matérielle

Conclusion

Qualification basée sur la technique de mutation

Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion

➤ Limitations

- Nombre de mutants augmente avec la taille de la DSV
- La simulation des mutants est consommatrice en temps

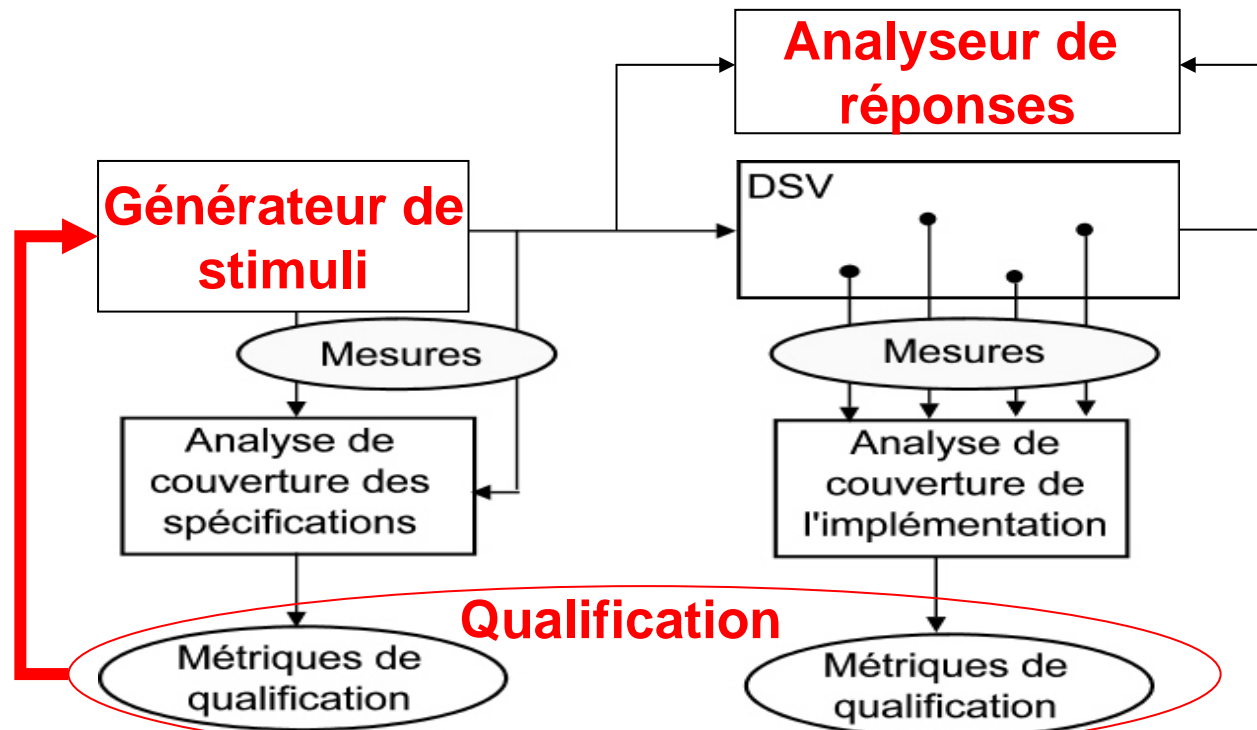
➤ Solutions : réduction de la complexité de l'analyse de mutation

- Mutation sélective
- MétaMutation
- Accélération matérielle

Génération de stimuli

➤ Les méthodes de génération de stimuli

- ✓ Déterministes
- ✓ Aléatoires
- ✓ Guidées par l'analyse de couverture



Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion

Génération de stimuli

➤ Problème posée

- Génération de stimuli guidée par l'**analyse de mutation**
- Transformation du problème de la détection de mutants en problème d'optimisation

➤ Solution inspirée des principes des algorithmes génétiques

✓ Algorithmes génétiques

- Algorithmes d'optimisation stochastiques
- Permettent d'approcher la solution, mais n'assurent pas l'obtention d'une solution exacte
- Faciles à adapter pour tout type d'application

✓ Principes d'adaptation

- Codage des éléments de l'espace de recherche : *individu*
- Définition de la fonction à optimiser : *fonction d'évaluation*
- Paramétrage de l'algorithme
- Détermination d'un critère d'arrêt
- Génération de la population initiale

Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

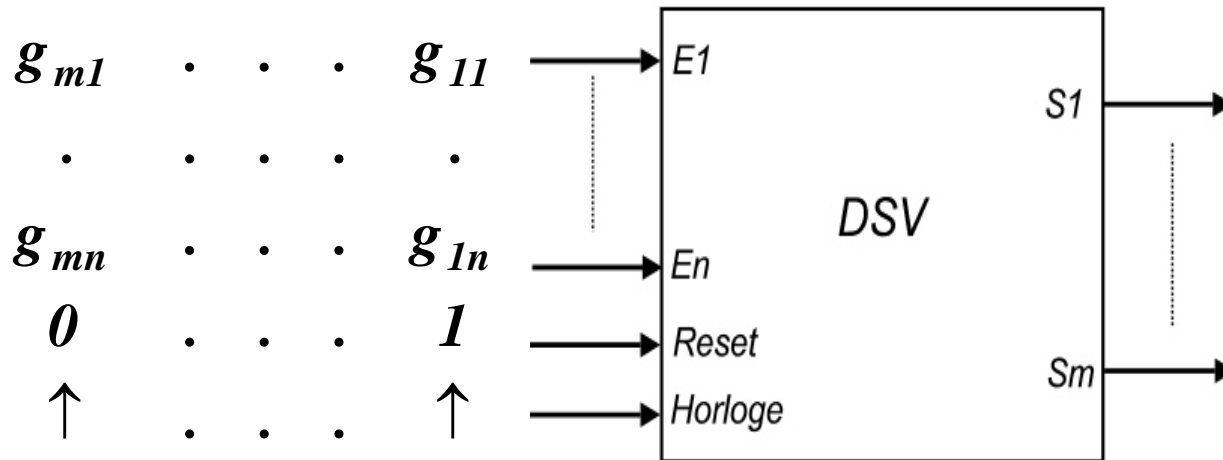
Accélération
matérielle

Conclusion

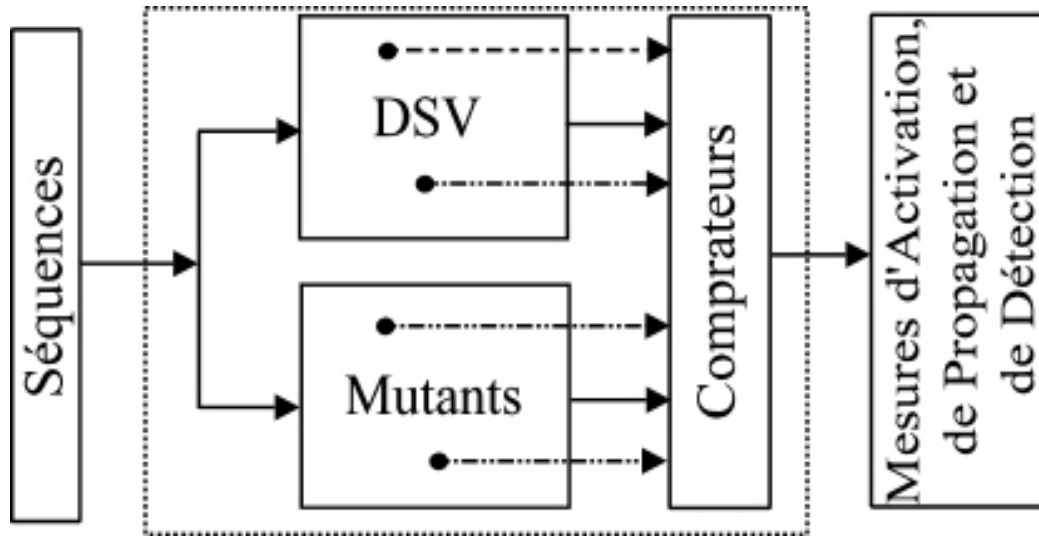
Adaptation des algorithmes génétiques

- Vérification fonctionnelle
- Qualification Fonctionnelle
- Génération de stimuli
- Accélération matérielle
- Conclusion

- **Codage des éléments de l'espace de recherche :**
 - ✓ Gène : une valeur d'une entrée de la DSV
 - ✓ Individu : une séquence de vecteurs d'entrées
 - ✓ Espace de recherche : l'ensemble de séquences d'entrées valides de la DSV



Fonctions d'évaluation



Fonctions à optimiser

- **Activation** f_A
- **Propagation** f_P
- **Détection** f_D

Vérification fonctionnelle

Qualification Fonctionnelle

Génération de stimuli

Accélération matérielle

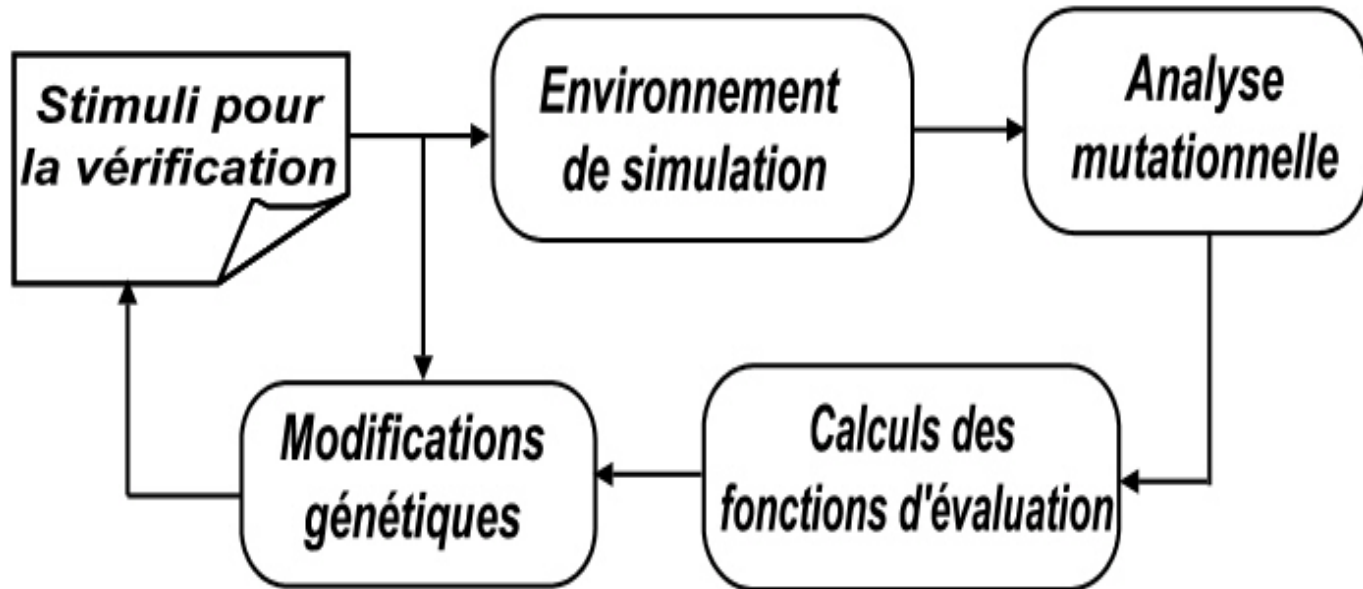
Conclusion

$$\begin{matrix}
 & M_1 & K & M_j & K & M_m \\
 S_1 & \left[\begin{array}{ccccc}
 a_{11} & K & a_{1j} & K & a_{1m} \\
 M & M & M & M & M & M \\
 S_i & a_{i1} & K & a_{ij} & K & a_{im} \\
 M & M & M & M & M & M \\
 S_n & a_{n1} & K & a_{nj} & K & a_{nm}
 \end{array} \right.
 \end{matrix}$$

$$f_A(S_i) = \frac{1}{L_i} \sum_{j=1}^m \frac{a_{ij}}{A_j}$$

Optimisation des stimuli

- Critère d'optimisation : activation, propagation et détection des mutants
- Solution recherché : sous-ensemble de séquences d'entrées valides de la DSV



Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion

Principe de l'optimisation des stimuli

Vérification
fonctionnelle

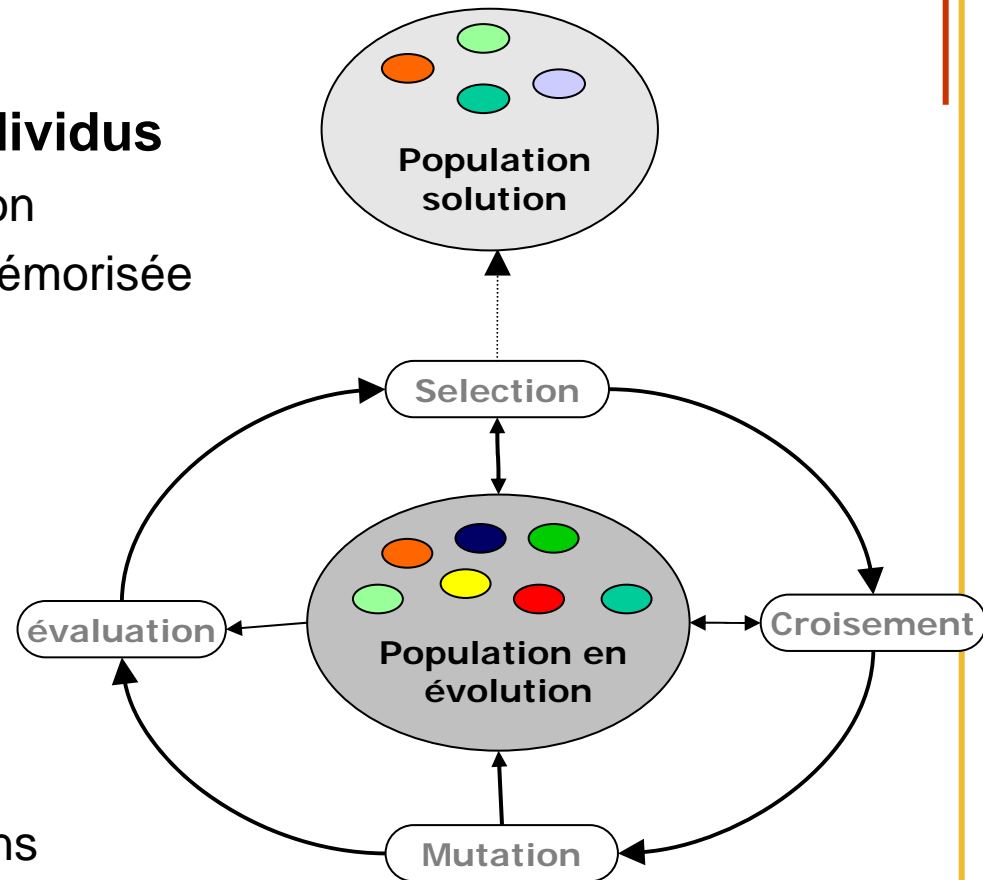
Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

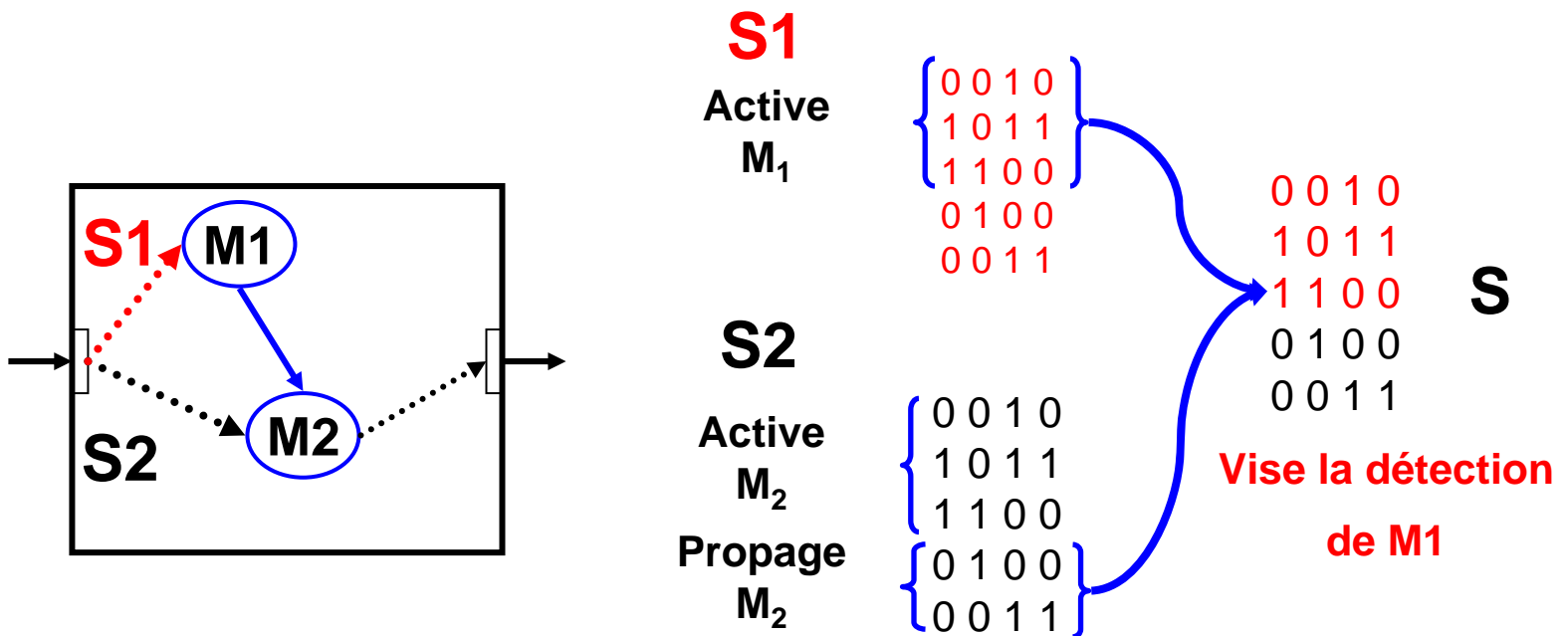
Conclusion

- **Deux ensembles d'individus**
 - ❖ Population en évolution
 - ❖ Population solution mémorisée
- **Quatre opérations**
 - Sélection
 - Croisement
 - Mutation
 - Mémorisation
- **Critères d'arrêt**
 - Score de mutation
 - Nombre de générations



Amélioration des opérateurs génétiques

- **Guidage déterministe des opérateurs génétiques**
- **Utilisation des distances entre mutants**
 - Extraction des distances selon la dépendance fonctionnelle



Expérimentations : Plateforme ALIGATOR

Vérification
fonctionnelle

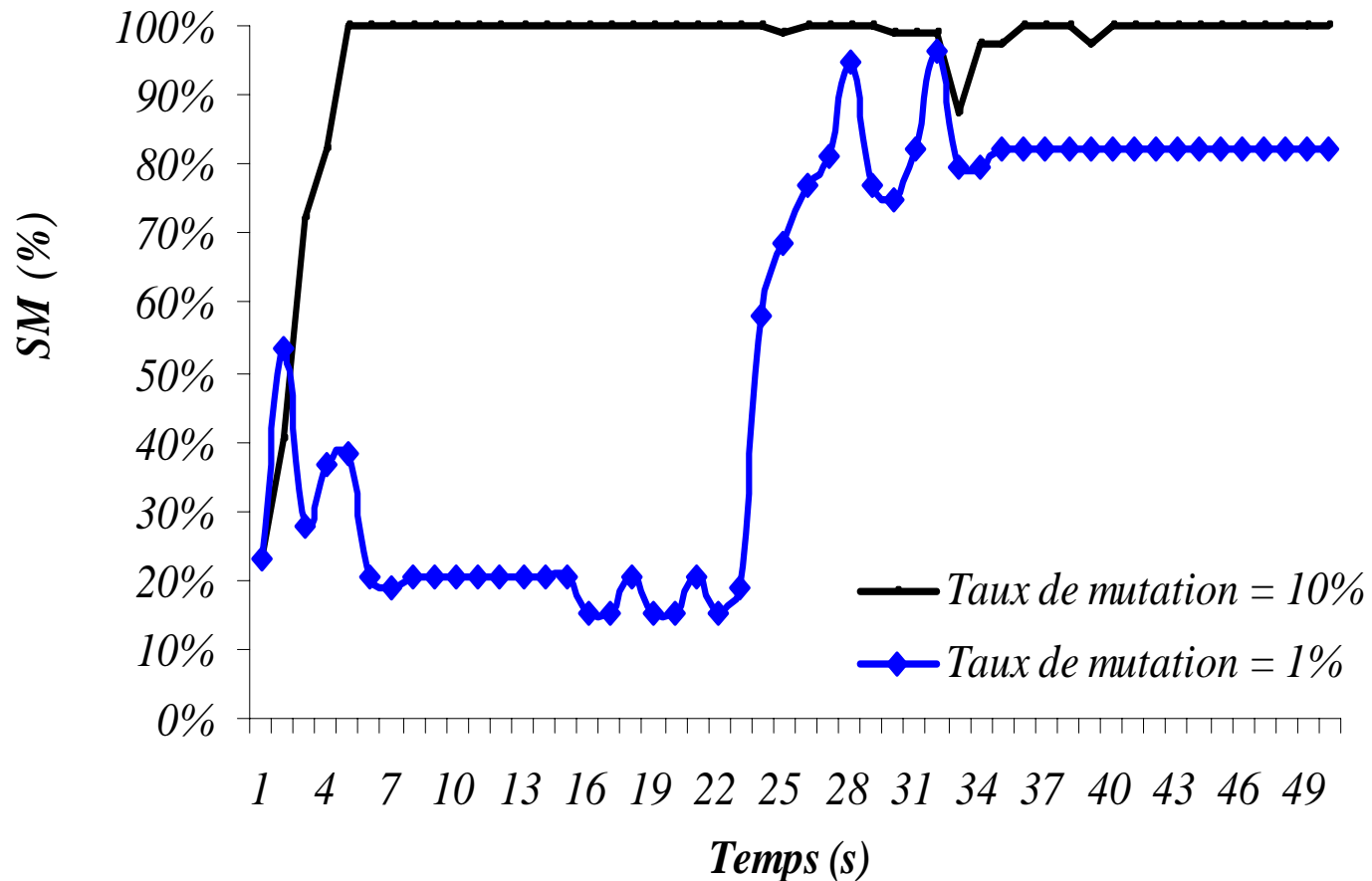
➤ Influence du taux de mutation sur la convergence

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

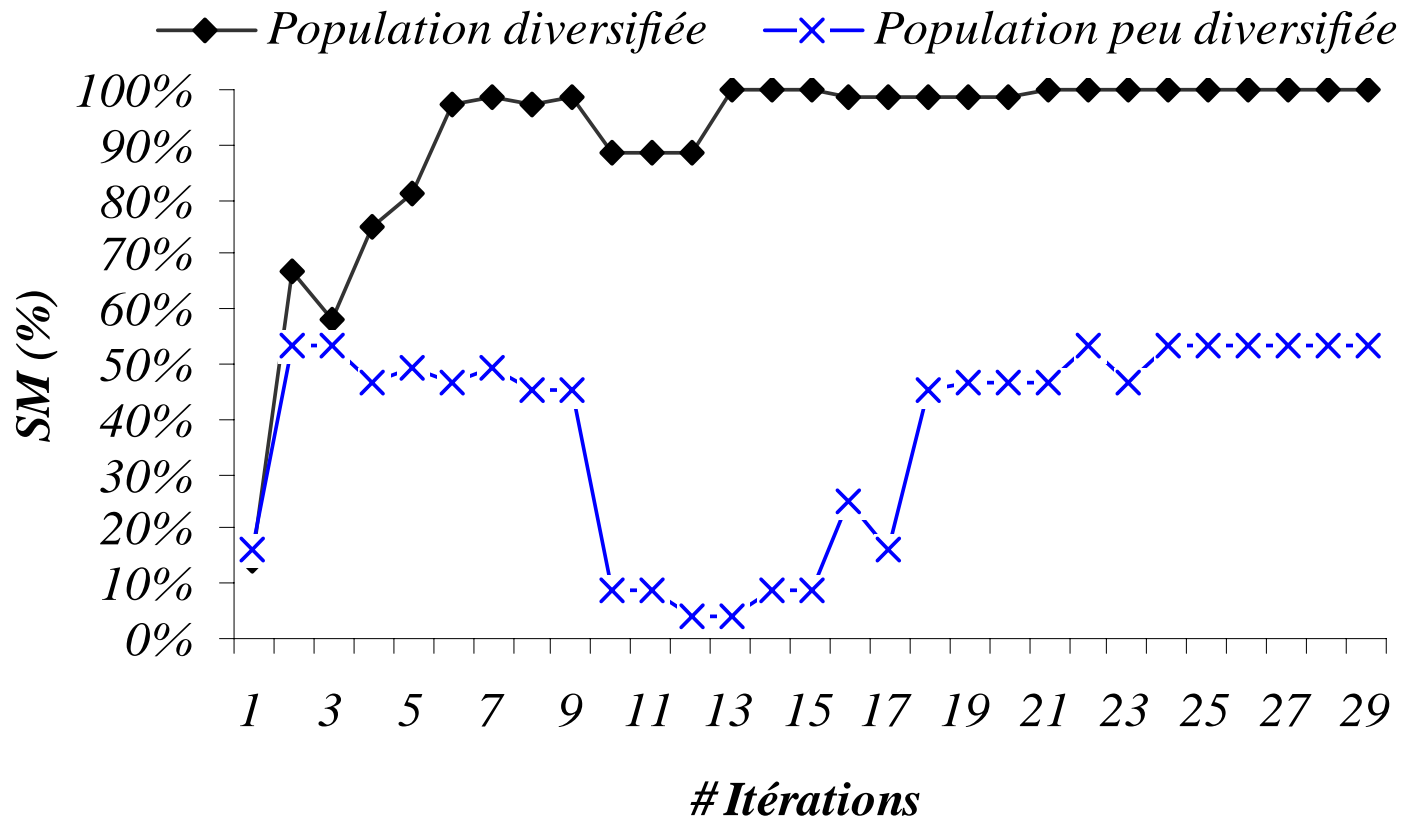
Accélération
matérielle

Conclusion



Expérimentations : Plateforme ALIGATOR

➤ Influence de la diversité de la population initiale



Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

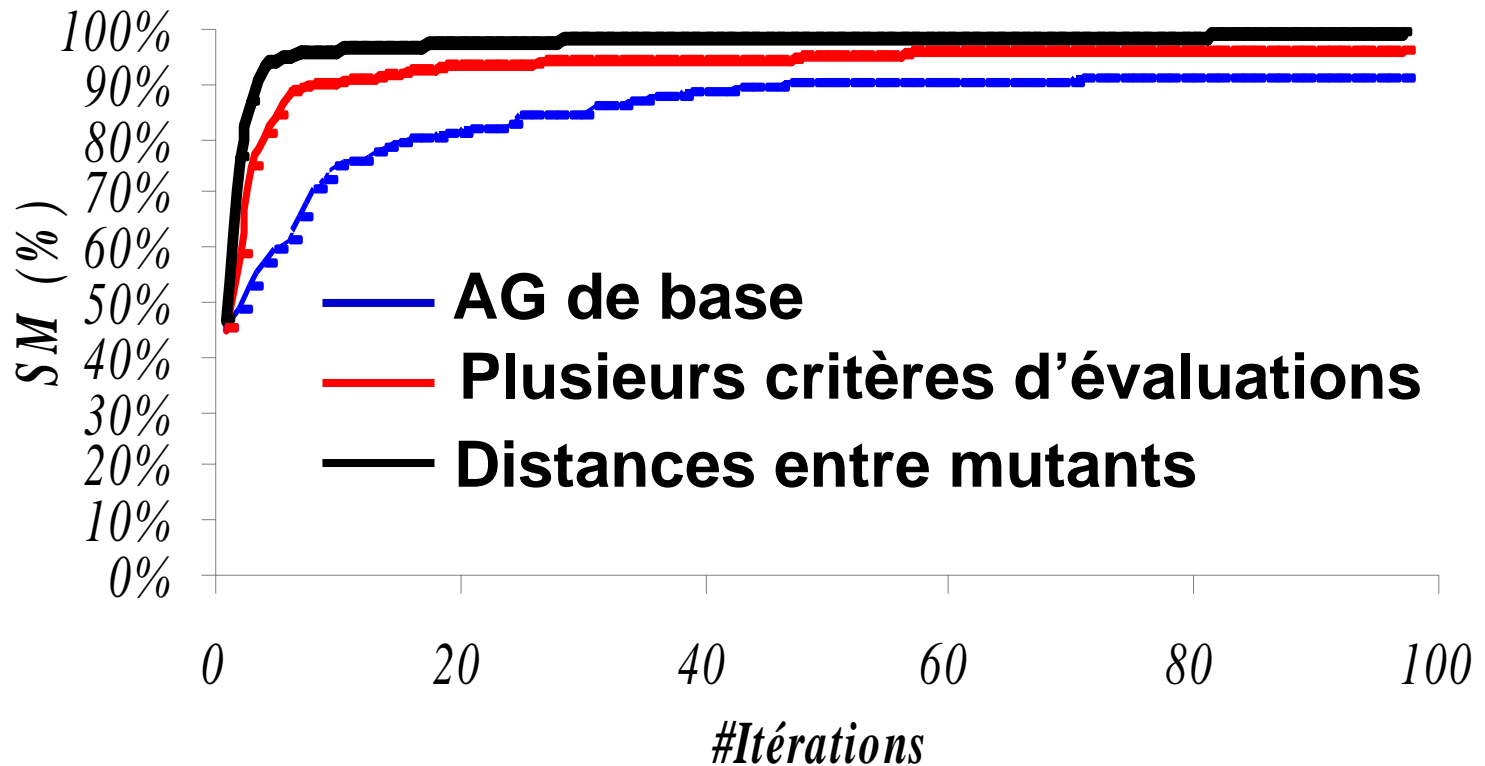
Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion

Expérimentations : Plateforme ALIGATOR

Apport des améliorations des opérateurs génétiques



Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion

Expérimentations : Plateforme ALIGATOR

Vérification
fonctionnelle

- **Cette plateforme permet**
 - de qualifier et d'améliorer la qualité de la vérification
 - d'automatiser la génération des stimuli

Qualification
Fonctionnelle

- **Inconvénient**
 - Temps de simulation

Génération
de stimuli

- **Solution**
 - Remplacement du simulateur par une plateforme d'accélération à base de FPGA

Accélération
matérielle

Conclusion

Accélération matérielle de l'analyse de mutation à base de FPGA

Vérification fonctionnelle

Qualification Fonctionnelle

Génération de stimuli

Accélération matérielle

Conclusion

➤ Principe

- Remplacer le simulateur par une plateforme à base de FPGA
- Implémenter l'environnement de qualification sur cette plateforme
- Conserver les algorithmes de génération de stimuli sur PC

➤ Nécessite l'adaptation de l'injection de fautes

- Pour optimiser la surface utilisée
- Pour respecter les règles de synthèse
- Pour être optimal en temps d'implémentation

Injection de mutants adaptée à l'accélération matérielle

Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion

➤ Principe de base

- ✓ Les opérateurs de mutation sont modélisés par des Fonctions d'Injection de Mutants (**FIM**)
- ✓ MétaMutant : une seule description contient tous les mutants possibles

➤ Gain

- ✓ **En Complexité spatiale** : la logique nécessaire à l'implémentation

$$O(\log (N_{mutants}))$$

où N_{mutant} est le nombre de mutant

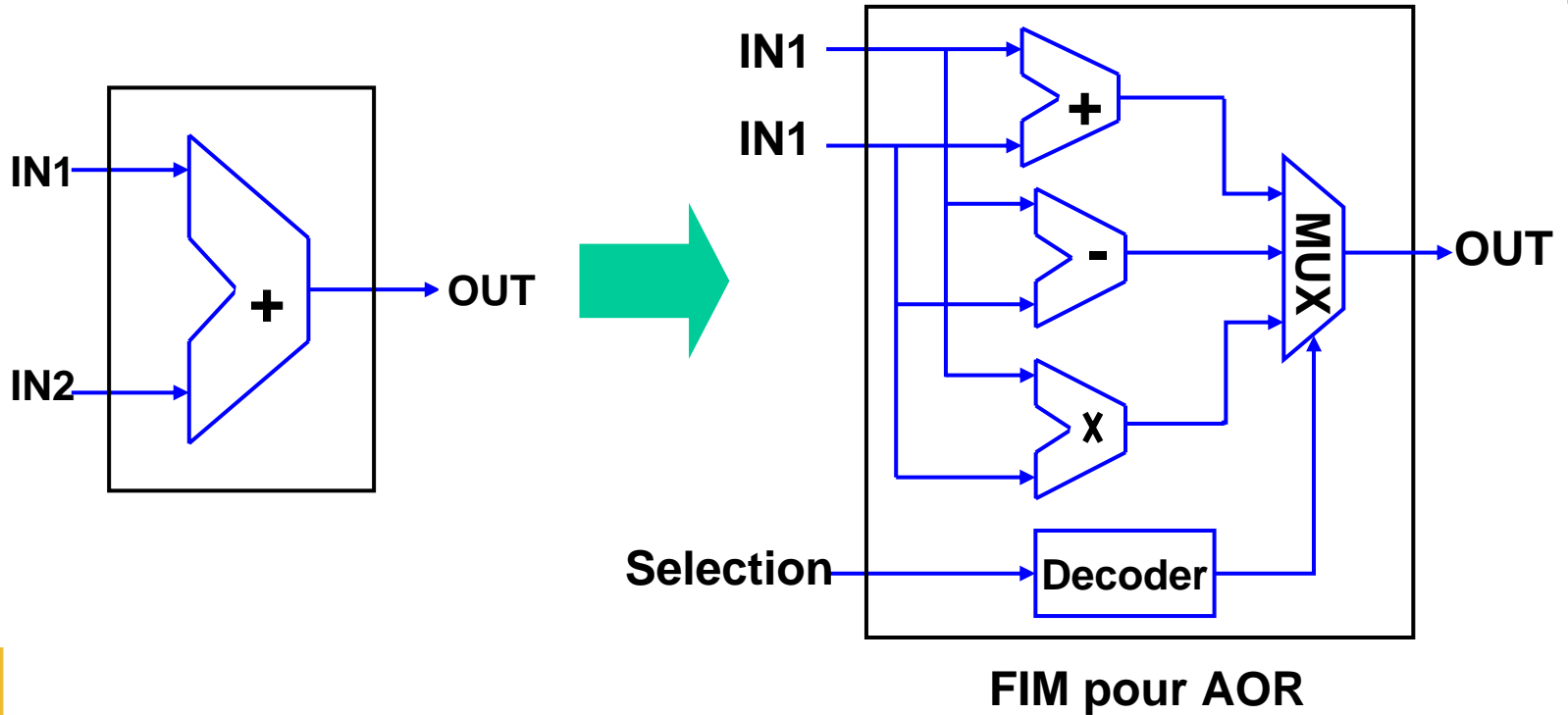
- ✓ **En complexité temporelle** : le temps nécessaire pour implémenter l'environnement de vérification

$$O(\log (T_{DSV}))$$

où T_{DSV} est temps d'implémentation de la DSV

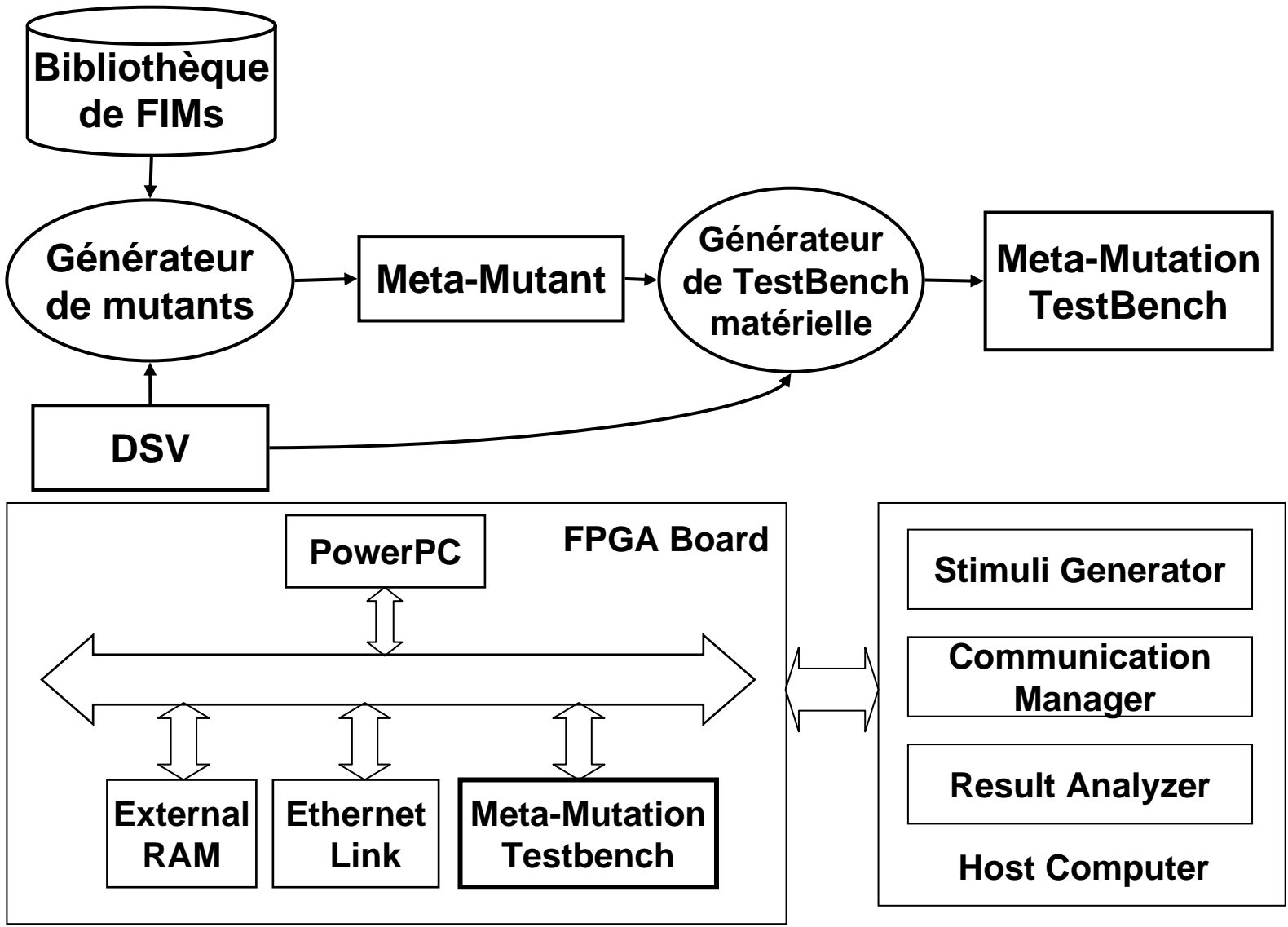
Exemple illustrant la MétaMutation

- Vérification fonctionnelle
- Qualification Fonctionnelle
- Génération de stimuli
- Accélération matérielle
- Conclusion



Plateforme matérielle

- Vérification fonctionnelle
- Qualification Fonctionnelle
- Génération de stimuli
- Accélération matérielle
- Conclusion



Expérimentations : Plateforme matérielle

- Vérification fonctionnelle
- Qualification Fonctionnelle
- Génération de stimuli
- Accélération matérielle
- Conclusion

	#Mutants	#Stimuli	HW T_E [s]	SW T_S [s]	T_S/T_E	MS [%]
B12	1500	1,000	5.34	101.76	19.05	12,33
		10,000	47.56	946.5	19.90	20
		100,000	446.35	8028.4	17.98	26.53
B14	635	1,000	2.67	44.71	16.74	26,84
		10,000	27.18	473.15	17.4	60,5
		100,000	286.02	4471.2	16.63	79.74

Communication ~98% **Emulation**

X17 Accélération matérielle

Conclusion

➤ **ALIGATOR: une plateforme matérielle/logicielle**

- Évalue la qualité de la vérification par analyse de mutation
- Améliore automatiquement la qualité de la vérification
- Accélère la simulation des mutants

➤ **Perspectives**

- Résolution du problème de communication entre plateforme matérielle et PC hôte
- Résolution du problème de validité de données générées
- Développement d'une stratégie d'aide au diagnostic

Vérification
fonctionnelle

Qualification
Fonctionnelle

Génération
de stimuli

Accélération
matérielle

Conclusion