



# Le formalisme BDMP ( Boolean logic Driven Markov Process)

définition, propriétés et exemples de modélisation de systèmes complexes

Marc.Bouissou@edf.fr

EDF R&D et CNRS UMR 8050





**1 - Pourquoi les BDMP ?**

**2 - Définition**

**3 - Propriétés**

**4 - Exemples simples**

**5 - Application aux systèmes complexes**

1

# Pourquoi les BDMP\* ?

\* Boolean logic Driven Markov Process (BDMP) ®



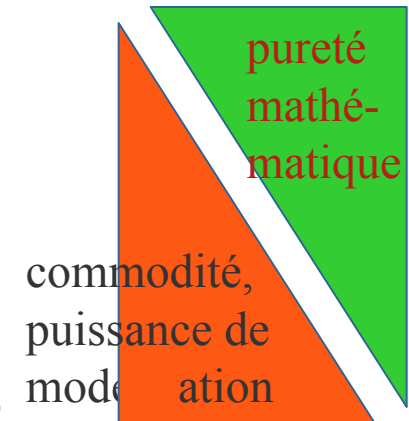
# Les deux catégories de modèles fiabilistes

## Modèles statiques ou structurels

- essentiellement les arbres de défaillances
- réseaux bayésiens

## Modèles dynamiques ou comportementaux

- graphes et chaînes de Markov
- files d'attente
- réseaux de Petri stochastiques
- modèles de simulation à événements discrets...



# Avantages ADD

Simplicité. Représentation implicite d'un graphe à  $2^N$  états

Modèle hiérarchique

**entrée progressive dans le détail**

**supporte le raisonnement "déductif", local**

Permet le calcul des coupes minimales

Mais

Hypothèse d'indépendance entre composants  
**nécessaire** au calcul de probabilité

# Avantages graphes de Markov

Possibilité de prise en compte de dépendances complexes  
(modèle comportemental)

Support idéal pour tous développements mathématiques

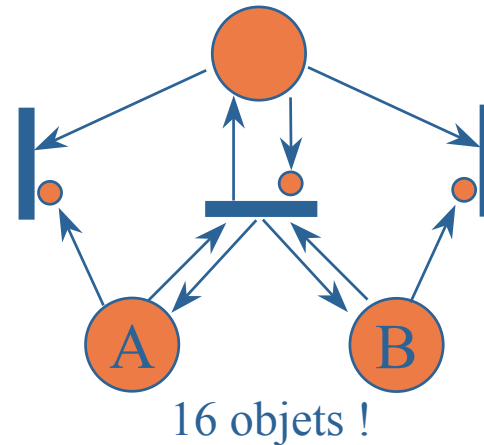
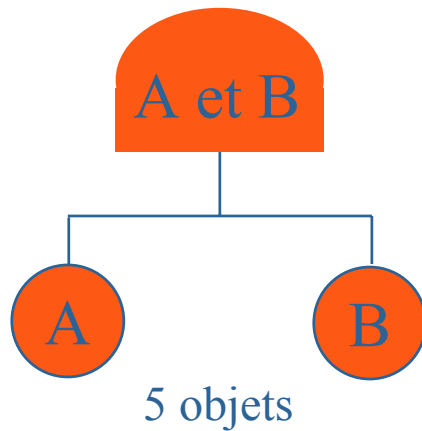
Mais

Nécessitent un formalisme de spécification de plus haut  
niveau (ex: RdPS)

**Explosion combinatoire !!**

# Limites des RdPS

Représenter une porte logique en RdPS...



Est très laborieux !

De plus,

- la validation de RdPS complexes est très difficile
- les RdPS n'apportent aucune solution au problème de l'explosion combinatoire (sauf pour systèmes très symétriques)

# Nouvelle\* idée : les BDMP

On remplace l'indépendance totale des feuilles d'un ADD par des **dépendances simples, spécifiées graphiquement.**

Chaque feuille est associées à un **Processus de Markov Piloté** : elle a **deux modes** "sollicité" et "non sollicité", associés à deux graphes de Markov (différents) quelconques.

Les transitions entre ces deux modes définissent éventuellement des états instantanés dans lesquels on peut déclencher des transitions instantanées probabilisées (défaillances à la sollicitation...)



Formalisme

“Boolean logic Driven Markov Processes” (BDMP)

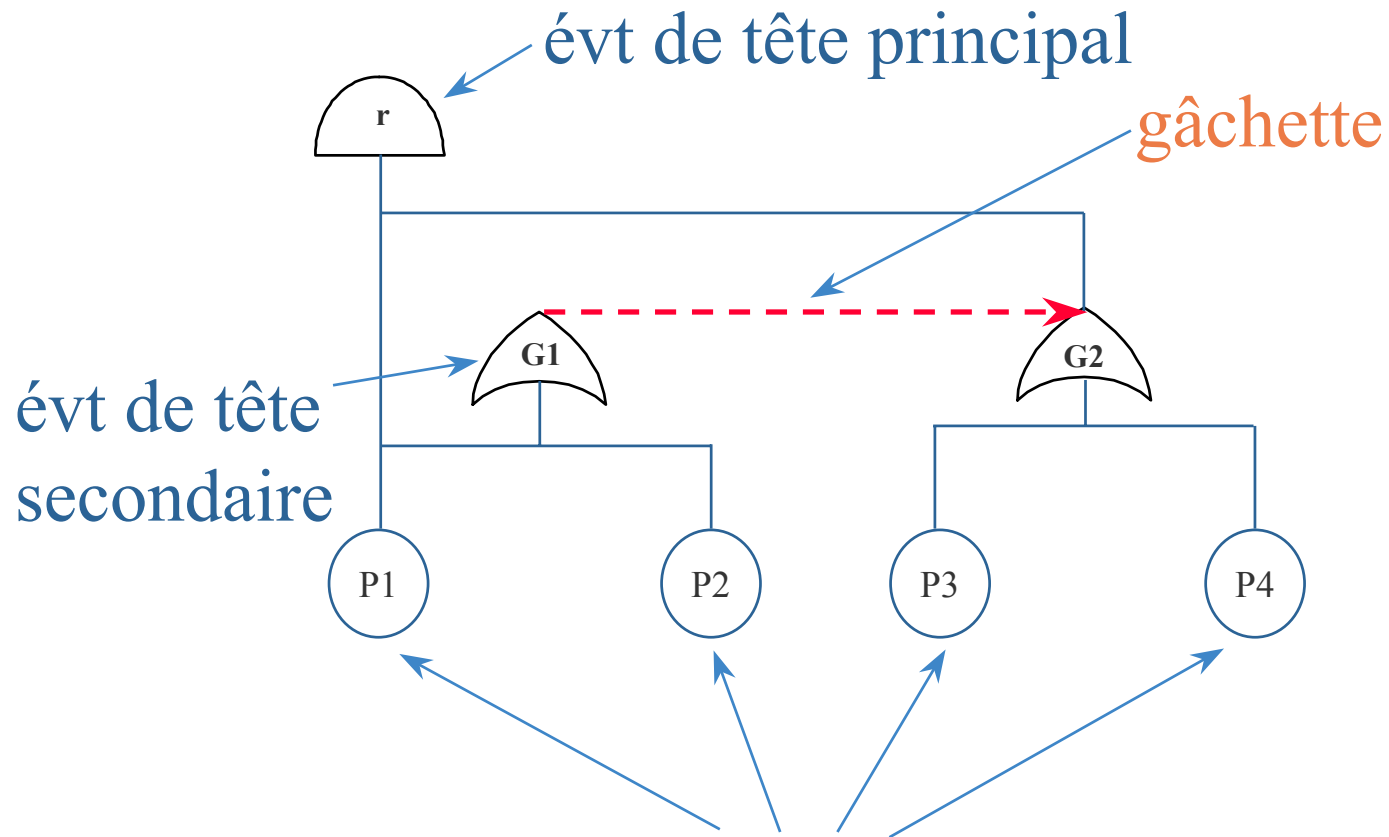
\*PSAM 06, juin 2002

# 2

## Définition des BDMP

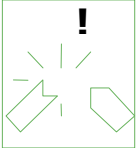

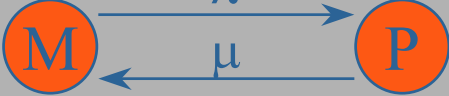
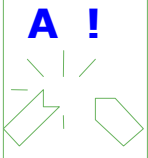
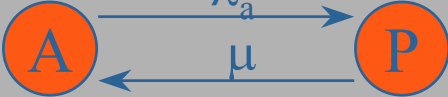
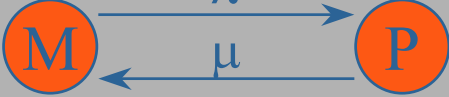
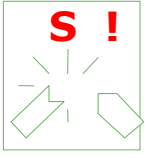


Un formalisme muni d'une rigoureuse  
définition mathématique

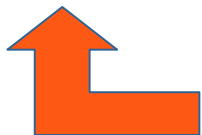
# Représentation graphique d'un BDMP



Processus de Markov pilotés  $P_i$  +  
definition des états de panne pour chaque  $P_i$

# Exemples de comportements de feuilles (processus de Markov pilotés)

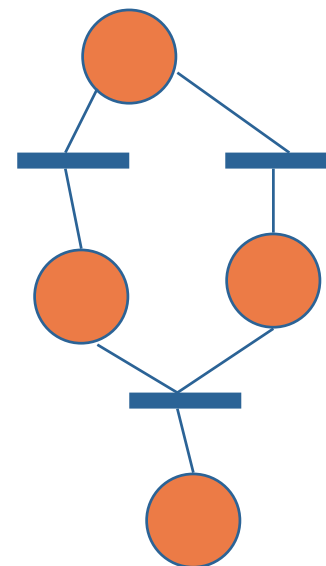
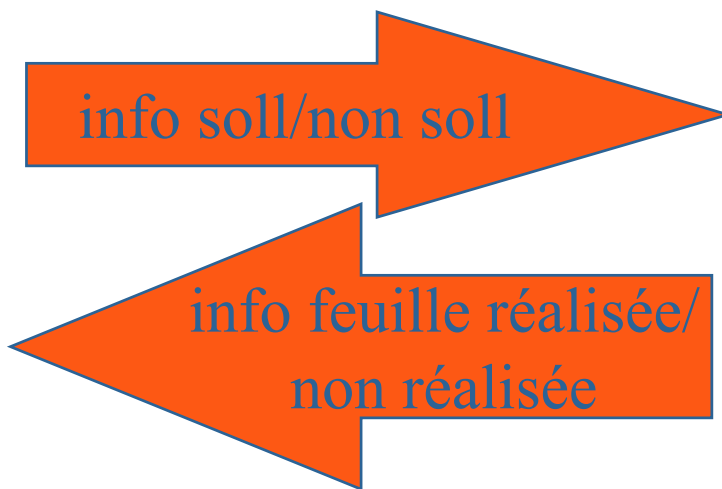
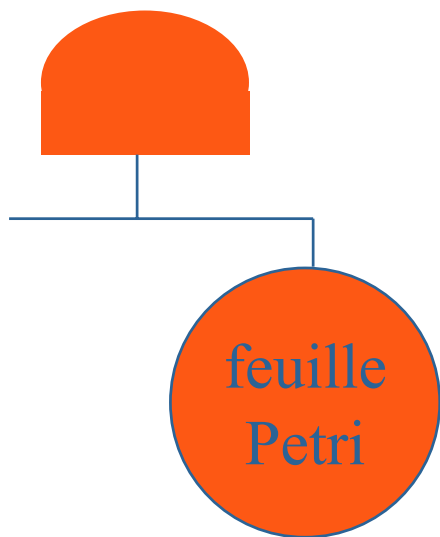
	Non sollicitée	Transfert entre modes	Sollicitée
	 <p>mode de défaillance possible seulement si sollicitée</p>	$A \leftrightarrow M$ $P \leftrightarrow P$	
	 <p>mode de défaillance à taux réduit si non sollicitée</p>	$A \leftrightarrow M$ $P \leftrightarrow P$	
	 <p>mode de défaillance à la sollicitation</p>	$\begin{cases} A \rightarrow M (1-\gamma) \text{ ou } A \rightarrow P (\gamma) \\ P \rightarrow P \\ A \leftarrow M \\ P \leftarrow P \end{cases}$	



représentation graphique de ces feuilles dans l'outil KB3/BDMP

# Et si aucun modèle prévu de feuille ne convient ?

Il suffit d'utiliser une "feuille Petri", associée à un RdPS **quelconque** dont les transitions sont autorisées/interdites en fonction de la sollicitation de la feuille

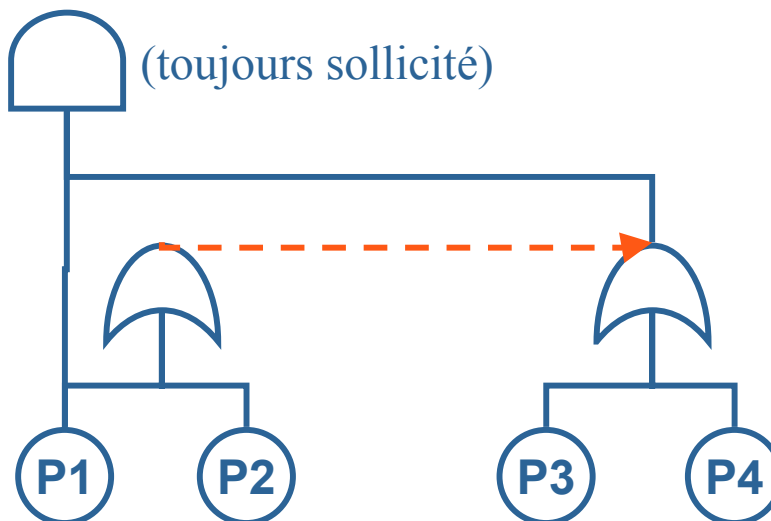


# Définition de la sollicitation dans un BDMP (1)

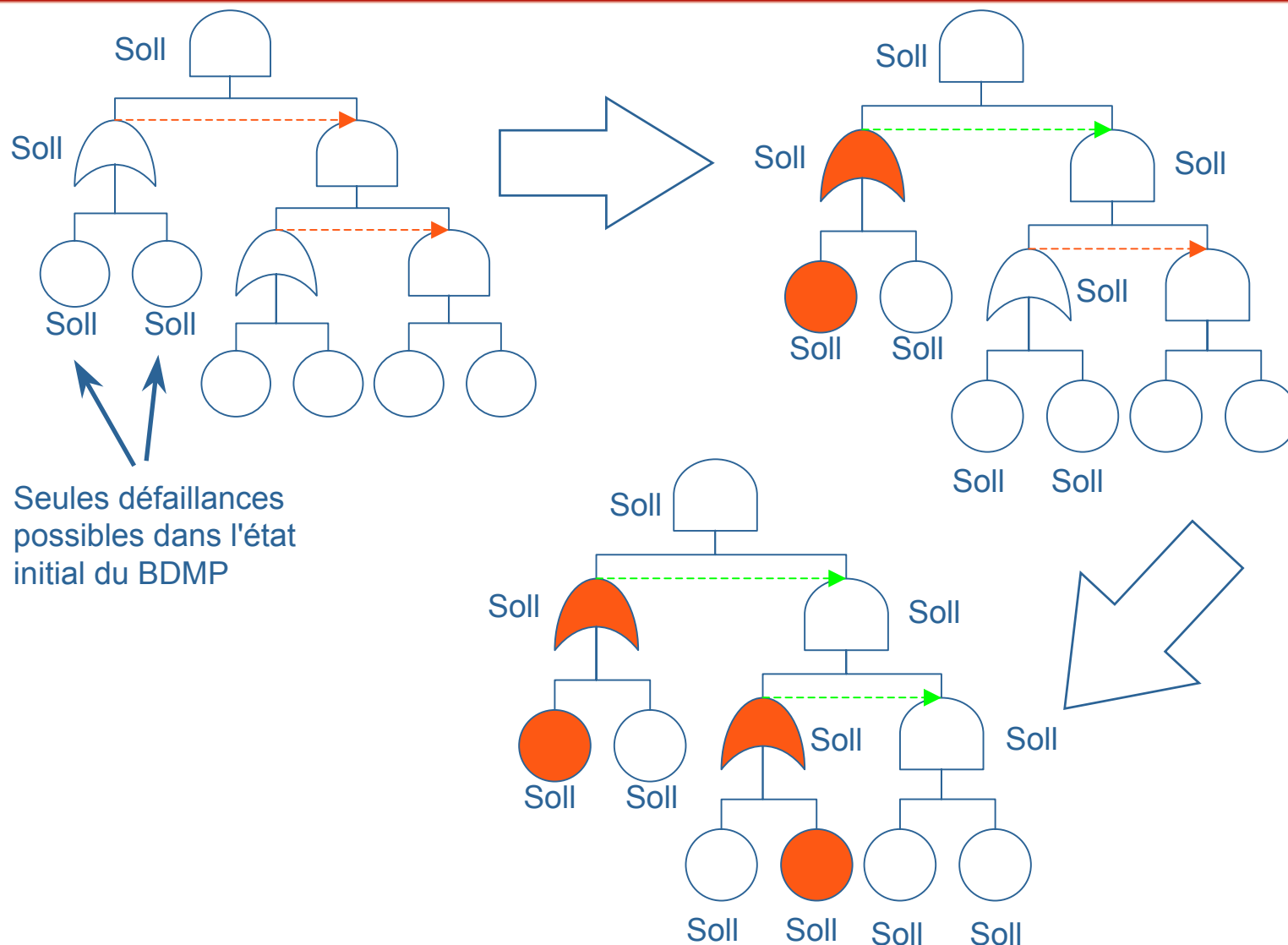
Concept très puissant car hiérarchique

"Signal" de sollicitation transmis par les branches de la fonction de structure

- une porte ou feuille est sollicitée sauf si un signal de non sollicitation lui est transmis par tous ses pères ou par une "gâchette" → Permet de modéliser les redondances passives en cascade



# Définition de la sollicitation dans un BDMP (2)



# Definition formelle

Le BDMP  $(F, r, T, (P_i))$  est composé de :

un arbre de défaillances multi-top cohérent  $F$   
(toutes les portes sont considérées comme des k/n)

un événement de tête principal  $r$  de  $F$

un ensemble de "gâchettes"  $T$

un ensemble de "processus pilotés"  $P_i$  associés aux événements de base de  $F$

la définition de deux catégories d'états pour chacun des  $P_i$

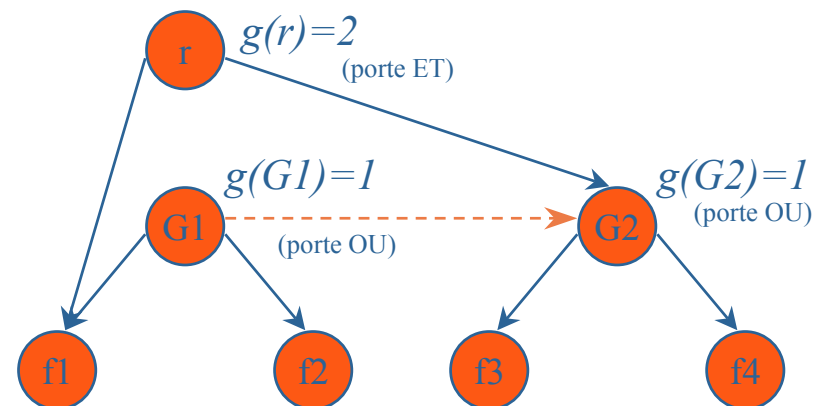
$$F=(E, L)$$

graphe orienté

sans circuit

$E= G \cup B$  : événements

$L$  : arcs  $(i, j)$



# Processus piloté (un par feuille)

$P_i$  2 processus de Markov (indices 0 et 1)\*,  
2 fonctions de transfert

$$\{Z_0^i(t), Z_1^i(t), f_{0 \rightarrow 1}^i, f_{1 \rightarrow 0}^i\}$$

$A_k^i$  espace des états de  $Z_k^i(t)$

$F_k^i \subset A_k^i$  sous espace des états ("de panne")

$x \in E_0^i$   $f_{0 \rightarrow 1}^i(x)$  = distribution de proba. sur  $E_1^i$

$x \in E_1^i$   $f_{1 \rightarrow 0}^i(x)$  = distribution de proba. sur  $E_0^i$

$Z_k^i(t)$  version "filtrée" de  $Z_k^i(t)$  : suppression des trans. entrant dans  $F_k^i$

\* En général : l'indice 1 signifie "sollicité"

# Trois familles de fonctions (de t)

## Fonctions de structure :

On considère toutes les portes comme des k/n

$$\forall i \in G, \quad S_i \equiv \sum_{j \in \text{sons}(i)} S_j \geq g(i)$$

$$\forall j \in B, \quad S_j \equiv Z_{X_j}^j \in F_{X_j}^j \quad \text{feuille } i \text{ dans un état "de panne" à } t$$

## Sélecteurs de processus :

Si  $i$  est un top, alors  $X_i = 1$  sinon

$$X_i \equiv \neg \left[ \left( \forall x \in E, (x, i) \in L \Rightarrow X_x = 0 \right) \vee \left( \exists x \in E / (x, i) \in T \wedge S_x = 0 \right) \right]$$

Vaut 1 sauf si :

- l'origine d'une gâchette pointant sur  $i$  a une fonction de structure égale à 0
- $i$  a au moins un père et tous ses pères ont leur sélecteur de processus à 0

# Trois familles de fonctions (suite)

## Indicateurs d'événements pertinents :

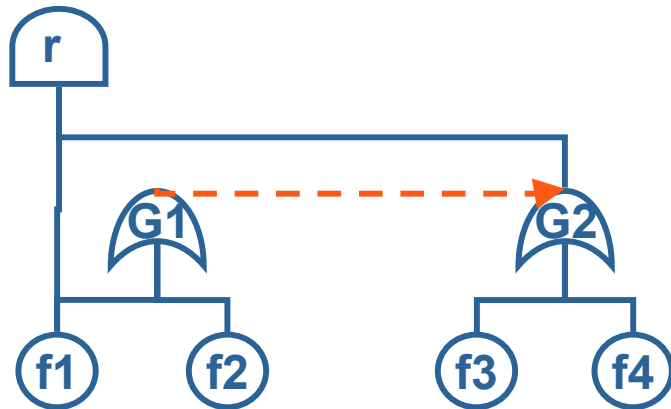
Si  $i = r$  (top principal), alors  $Y_i = 1$  sinon

$$Y_i \equiv C_i \vee \left( \exists x \in E / (x, i) \in L \wedge Y_x \wedge S_x = 0 \right) \vee \left( \exists y \in E / (i, y) \in T \wedge S_y = 0 \right)$$

- Un événement est **non pertinent** si la propagation des effets de sa réalisation dans l'arbre n'agit que sur des portes déjà réalisées (ex: sous une porte OU, tous les événements fils deviennent non pertinents dès qu'une des entrées est passée à 1)

( $C_i$  est une constante booléenne associée à l'évt  $i$  permettant de "forcer"  $Y_i$  à la valeur 1 )

# Exemple



En prenant tous  
les  $C_i = 0$



<i>Fonctions de structure</i>	<i>Sélecteurs de processus</i>	<i>Indicateurs d'evts pertinents</i>
$S_r = S_{f1} \wedge S_{G2}$	$X_r = 1$	$Y_r = 1$
$S_{G2} = S_{f3} \vee S_{f4}$	$X_{G2} = S_{G1}$	$Y_{G2} = \neg S_r$
$S_{G1} = S_{f1} \vee S_{f2}$	$X_{G1} = 1$	$Y_{G1} = \neg S_{G2}$
$S_{f1} = 1 \Leftrightarrow P_{f1}$ ds un état de panne	$X_{f1} = X_{G1} \vee X_r = 1$	$Y_{f1} = \neg S_{G1}$
$S_{f2} = 1 \Leftrightarrow P_{f2}$ ds un état de panne	$X_{f2} = X_{G1} = 1$	$Y_{f2} = \neg S_{G1}$
$S_{f3} = 1 \Leftrightarrow P_{f3}$ ds un état de panne	$X_{f3} = X_{G2} = S_{G1}$	$Y_{f3} = Y_{G2} \wedge \neg S_{G2}$
$S_{f4} = 1 \Leftrightarrow P_{f4}$ ds un état de panne	$X_{f4} = X_{G2} = S_{G1}$	$Y_{f4} = Y_{G2} \wedge \neg S_{G2}$

Initialisation : modes et états des  $P_i$

Quand un des  $P_i$  change d'état, toutes les fonctions sont recalculées et pour chaque  $P_i$  dont la fonction de sélection de processus change et dont le  $Y_i$  vaut 1, la fonction de transfert associée est appliquée pour définir vers quels états le processus va (instantanément) et avec quelles probabilités. Cela peut déclencher d'autres changements de mode en cascade.

Les  $P_i \leftrightarrow Y_i = 0$  sont modifiés : leurs transitions "de défaillance" (cad faisant passer  $S_i$  de 0 à 1) sont inhibées jusqu'à ce que leur  $Y_i$  repasse à 1

# 3

## Propriétés mathématiques

La capacité à réduire considérablement la combinatoire des traitements tout en donnant des résultats qualitatifs très pertinents

# Propriétés mathématiques

Théorème 1 : les trois familles de fonctions sont calculables quelle que soit la structure du BDMP

Théorème 2 : le processus global décrit par le BDMP, dont l'état à l'instant  $t$  est défini par le vecteur des modes et des états des  $P_i$  est un processus de Markov

L'arbre  $F$  du BDMP permet de calculer les coupes minimales dont les éléments correspondent à la présence dans des états de panne des processus  $P_i$

L'analyse du graphe  $L \cup T$  permet d'identifier des indépendances ou des "dépendances unidirectionnelles" entre sous-BDMP (en prenant tous les  $C_i = 1$ )

# La propriété essentielle des BDMP

Théorème 3 :

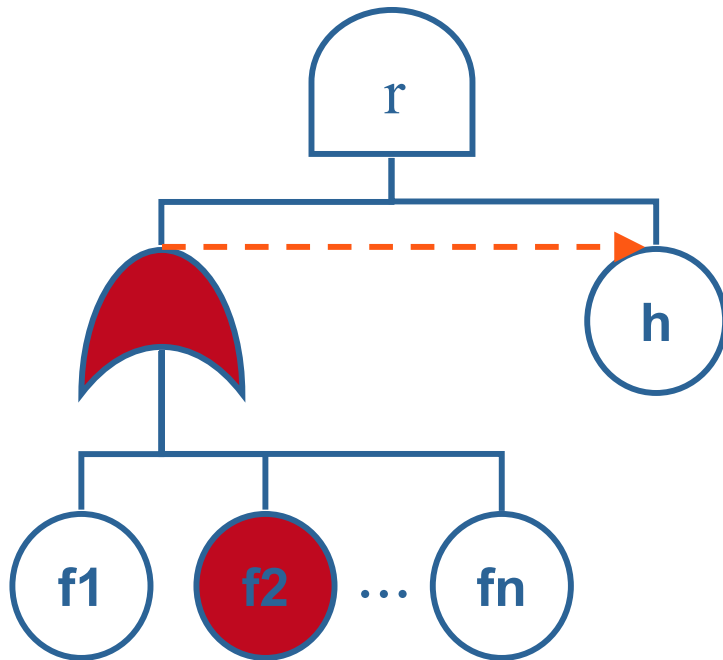
Si tous les processus  $P_i$  sont tels que, quels que soient les changements de mode qu'ils subissent, \*

$$\forall i \in B, \forall t, S_i(t) = 1 \Rightarrow \forall t' \geq t, S_i(t') = 1$$

alors  $\Pr(Sr(t)=0)$  (cad la fiabilité associée à l'évt indésirable de F) ne dépend pas du choix des constantes  $C_i$

\* en pratique, signifie que les feuilles de l'arbre modélisent des composants/sous-systèmes **non réparables**.  
Dans le cas d'un sous-système, il peut y avoir des réparations tant que le sous-système n'est pas en panne

# Réduction de la combinatoire (filtrage des événements pertinents)



après la défaillance de  $f_2$ ,  
tous les autres  $f_i$  sont devenus  
**non pertinents** -> cela ne change  
rien vis à vis de  $r$  si on les inhibe

Le nombre de séquences menant à la panne est

Égal à  $n$  si on filtre les événements pertinents ( $f_1, h$  ;  $f_2, h \dots$ )

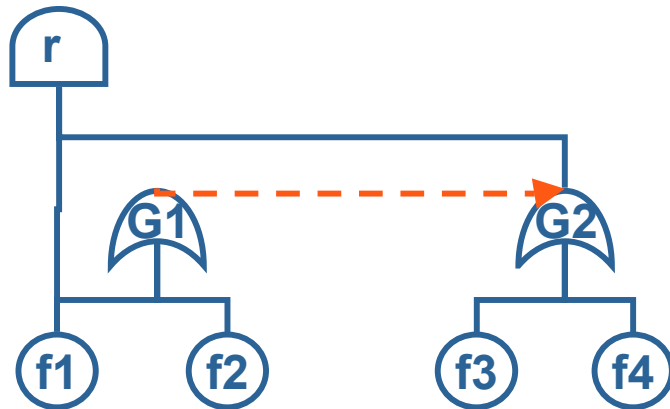
Exponentiel si on ne les filtre pas ( $f_1, h$  ;  $f_1, f_2, h$  ;  $f_1, f_3, h \dots$ )

Soit  $K(n)$  le nb de séquences que l'on peut construire en utilisant un sous-ensemble non vide de  $n$  événements :  $K(n) = n + n K(n-1)$ . Par exemple,  $K(10) = 9.864.100$ , and  $K(15) > 3.5 \cdot 10^{12}$

# Conséquence pratique

Le processus global simplifié par le filtrage des événements pertinents est un moyen de calculer exactement la fiabilité du système (s'il est non réparable)

D'un point de vue qualitatif, les séquences obtenues dans le graphe de Markov simplifié sont plus intéressantes et beaucoup moins nombreuses

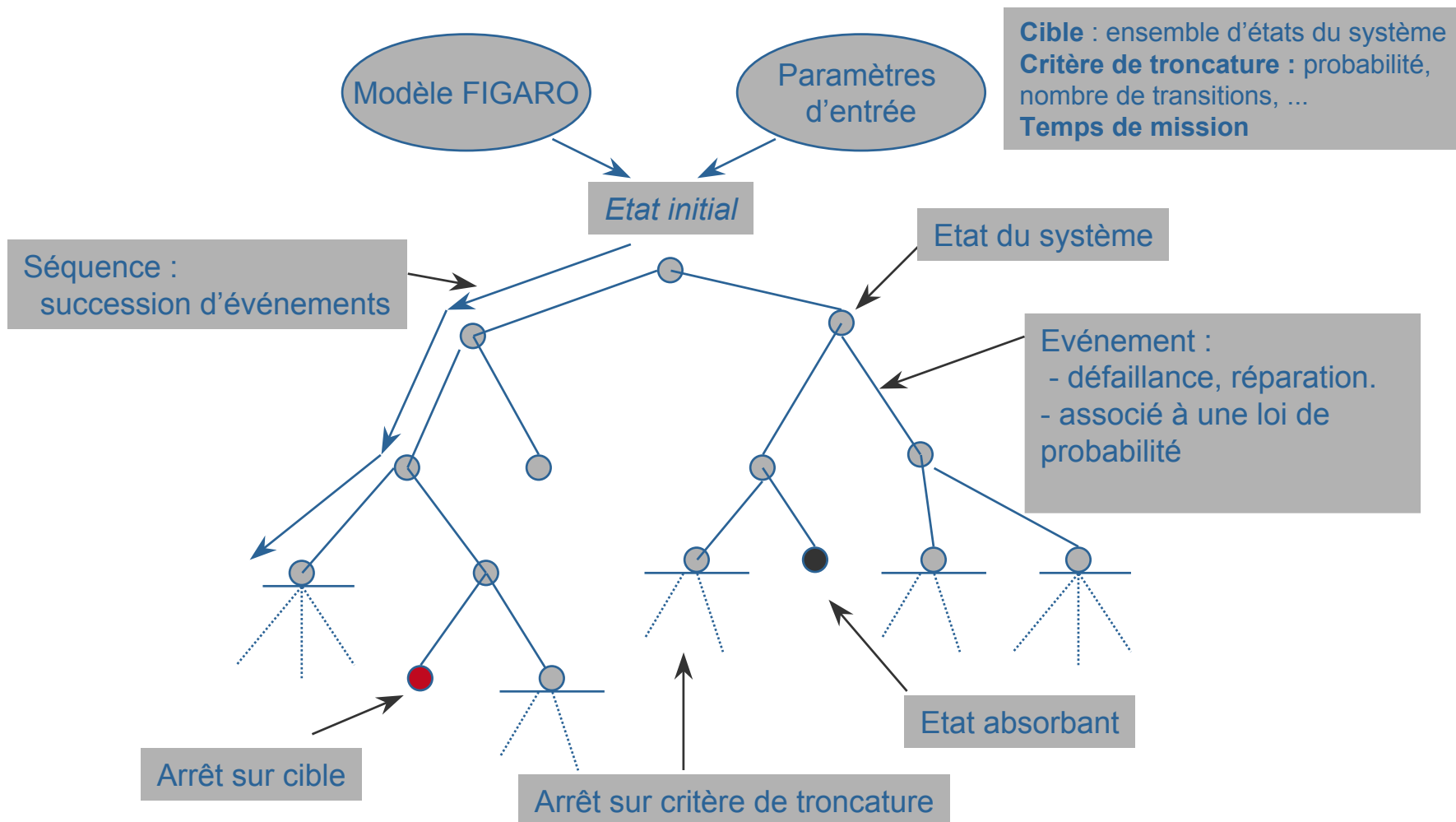


Les séquences menant à la panne ( $S_r=1$ ) sont :

def1, def3  
def1, def4  
def2, def3, def1  
def2, def4, def1  
def2, def1, def3  
def2, def1, def4  
def1, **def2**, def3  
def1, **def2**, def4  
def2, def3, **def4**, def1  
def2, def4, **def3**, def1

} éliminées par filtrage des evts pertinents (evts inactifs en gras)

# Principes d'exploration de séquences par FIGSEQ



les séquences obtenues à partir d'un BDMP sont en grande majorité **minimales** -> intéressantes pour l'analyse des résultats

# Exploitation des evts pertinents

Algorithmes de calcul par exploration de séquences (outil FIGSEQ)

Filtrage des événements pertinents :

**Systeme non réparable -> réduction de la combinatoire des séquences à explorer, avec calcul exact de fiabilité**

**Systeme réparable -> réduction de la combinatoire des séquences à explorer, avec calcul approché de fiabilité et dispo.**

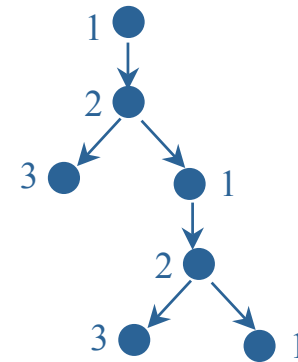
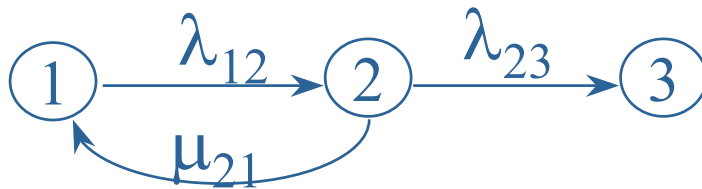
NB : dans la plupart des cas, le modèle avec filtrage est plus réaliste que le modèle sans filtrage (ex : cas des cpts hors tension, des modes de défaillance exclusifs...)

# Quantification of sequences

## Two kinds of algorithms

A : Exhaustive search (well suited to non repairable systems or for short mission times)

B : SRI algorithm (well suited to completely and quickly repairable systems )



$$A : P(1,2,3;t) + P(1,2,1,2,3;t) < 1-R(t) < P(1,2,3;t) + P(1,2,1,2,3;t) + P(1,2,1,2,1;t)$$

$$B : R(t) \# \exp (- \Lambda \varepsilon t) \quad \text{pessimistic approximation}$$

$\Lambda =$  output rate for the initial state (here:  $\lambda_{12}$ ),

$\varepsilon = \text{Pr}(\text{going from initial state to failure state without traversing the initial state})$  (here:  $\lambda_{23} / (\lambda_{23} + \mu_{21})$ )

# 4

## Exemples simples

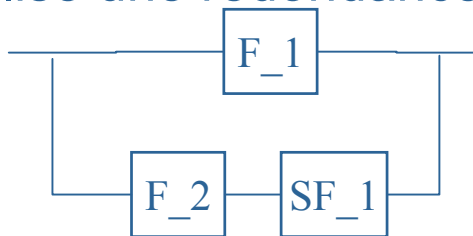
Où l'on peut "vérifier" le théorème sur le filtrage des événements pertinents

# Système avec redondance passive

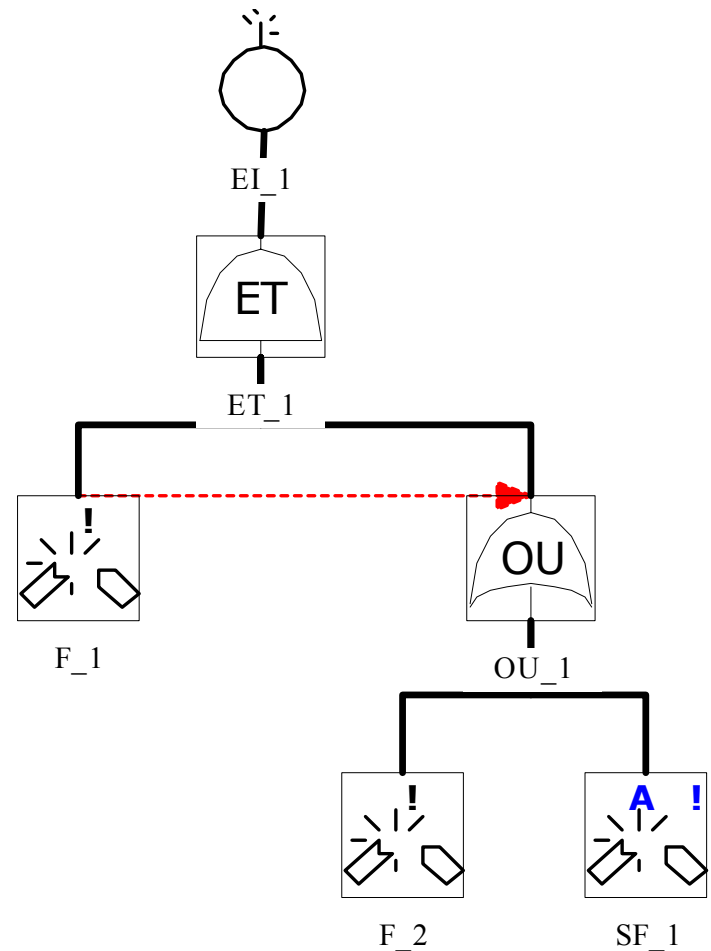
Dans l'état initial, F\_2 et SF\_1 sont en mode non sollicité => défaillance de F\_2 impossible, défaillance de SF\_1 à taux réduit

Après défaillance de F\_1, la défaillance de F\_2 est possible, celle de SF\_1 a un taux d'occurrence augmenté

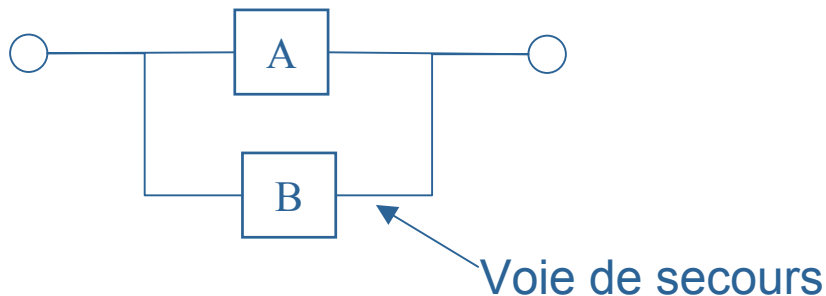
Si on supprime la gâchette, on modélise une redondance active



Voie de secours



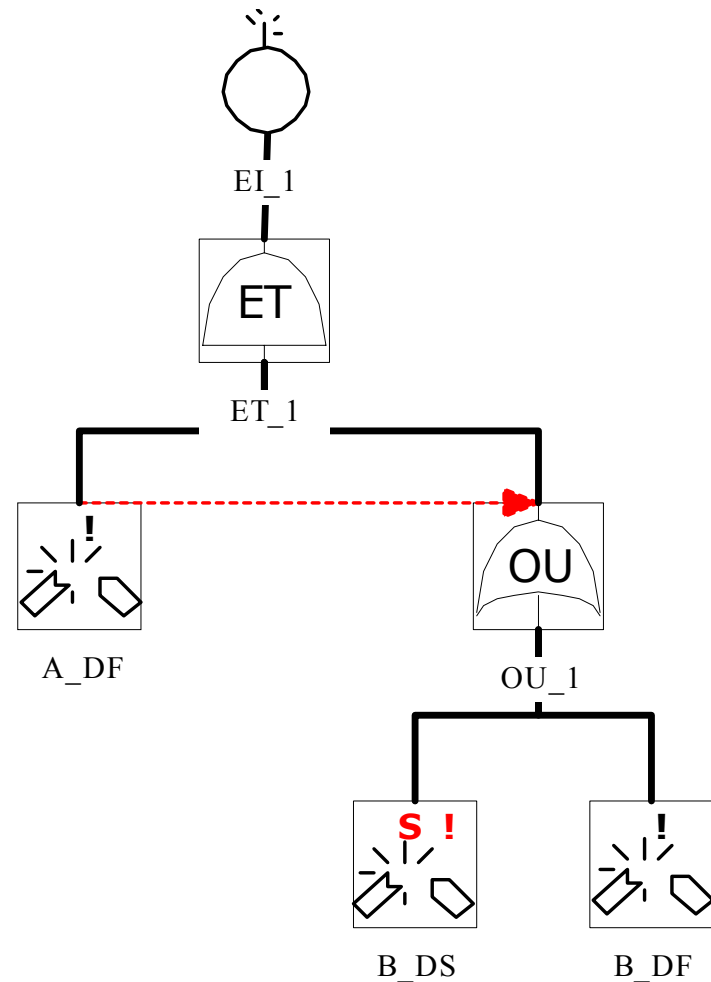
# Redondance passive avec possibilité de refus de démarrage



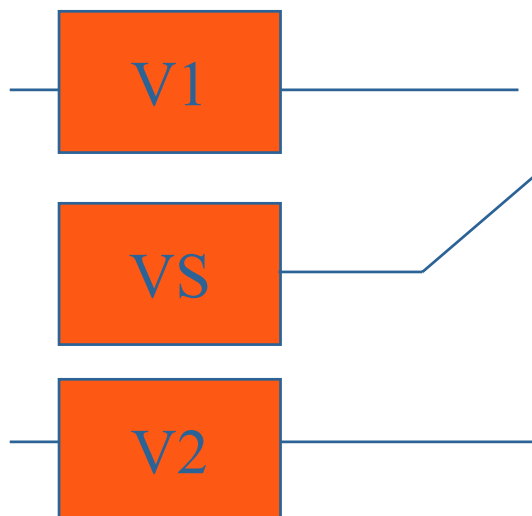
La défaillance de B est expliquée par un sous-arbre :

**Défaillance à la sollicitation (DS), qui peut être déclenchée lors du passage du mode non sollicité au mode sollicité**

**Défaillance en fonctionnement (DF)**



# Secours partagé : problème



V1, V2 fonctionnent en permanence

VS peut remplacer soit V1, soit V2

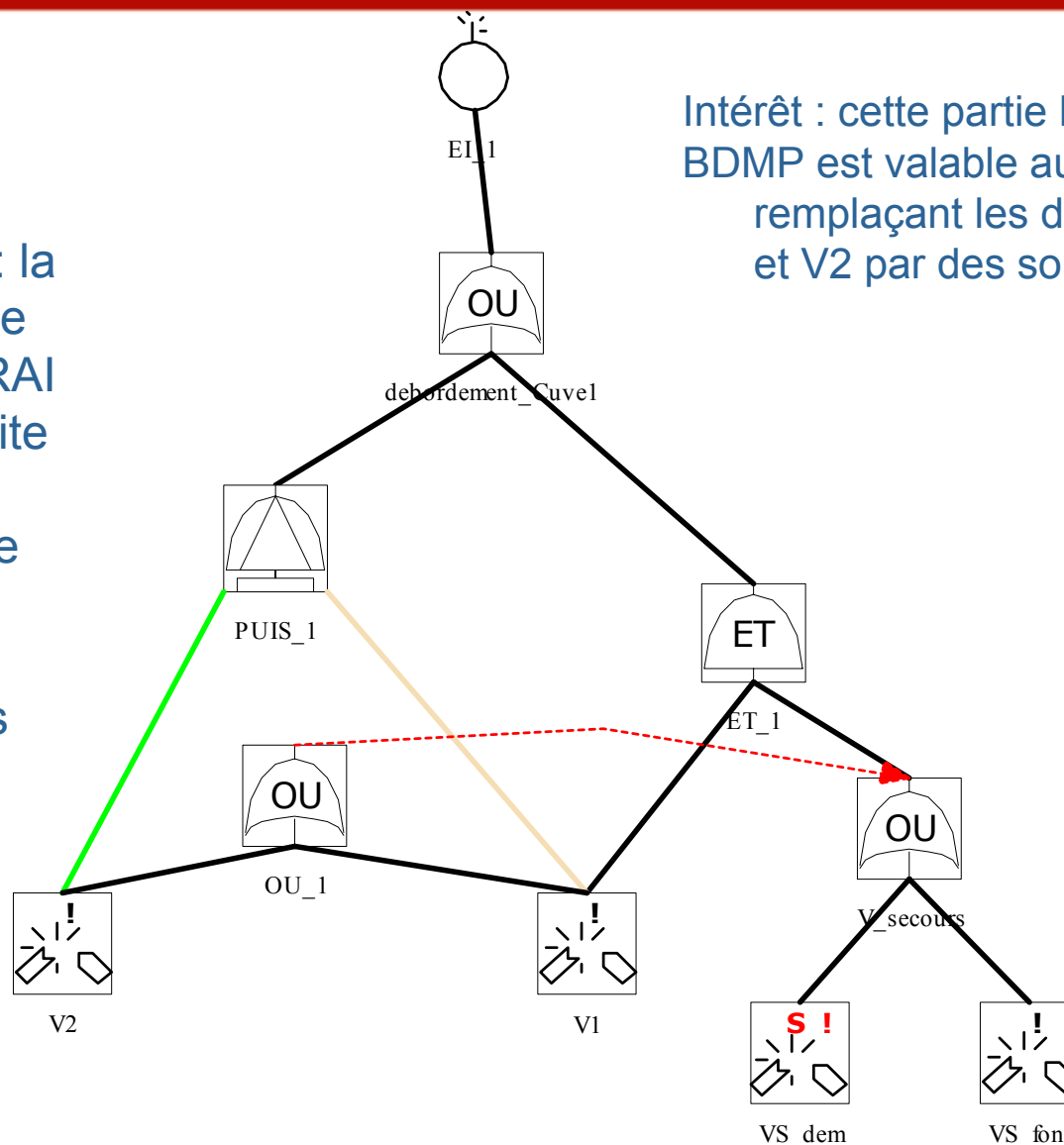
S'il remplace V1, il devient indisponible pour V2 et vice-versa

La perte de la fonction assurée par V1 survient si V1 **et** VS sont en panne, ou si V1 tombe en panne **après** V2 (qui aura donc "consommé" le secours par VS)

# Secours partagé : solution en BDMP

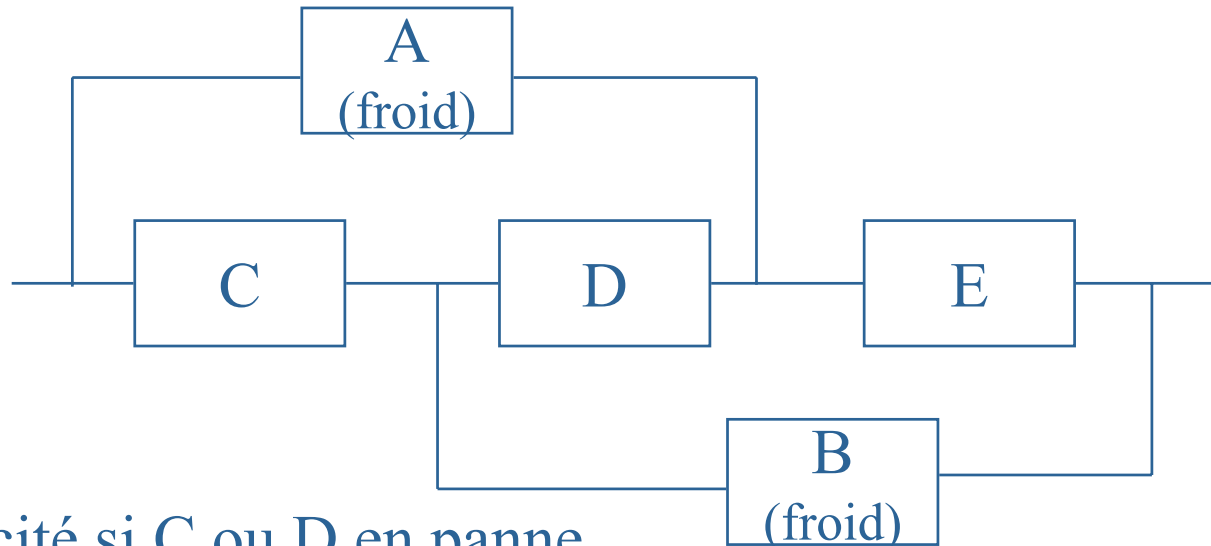
Introduction d'une extension des BDMP standard : la porte "puis". Cette porte passe à VRAI si son entrée droite passe à VRAI pendant que celle de gauche est à VRAI. Plusieurs options possibles pour le retour à FAUX

Intérêt : cette partie haute de BDMP est valable aussi en remplaçant les défs de V1 et V2 par des sous-BDMP



# Cas test de A. Cabarbaye et L. Ngom

Systeme non reparable. Defaillance en attente possible sur A et B



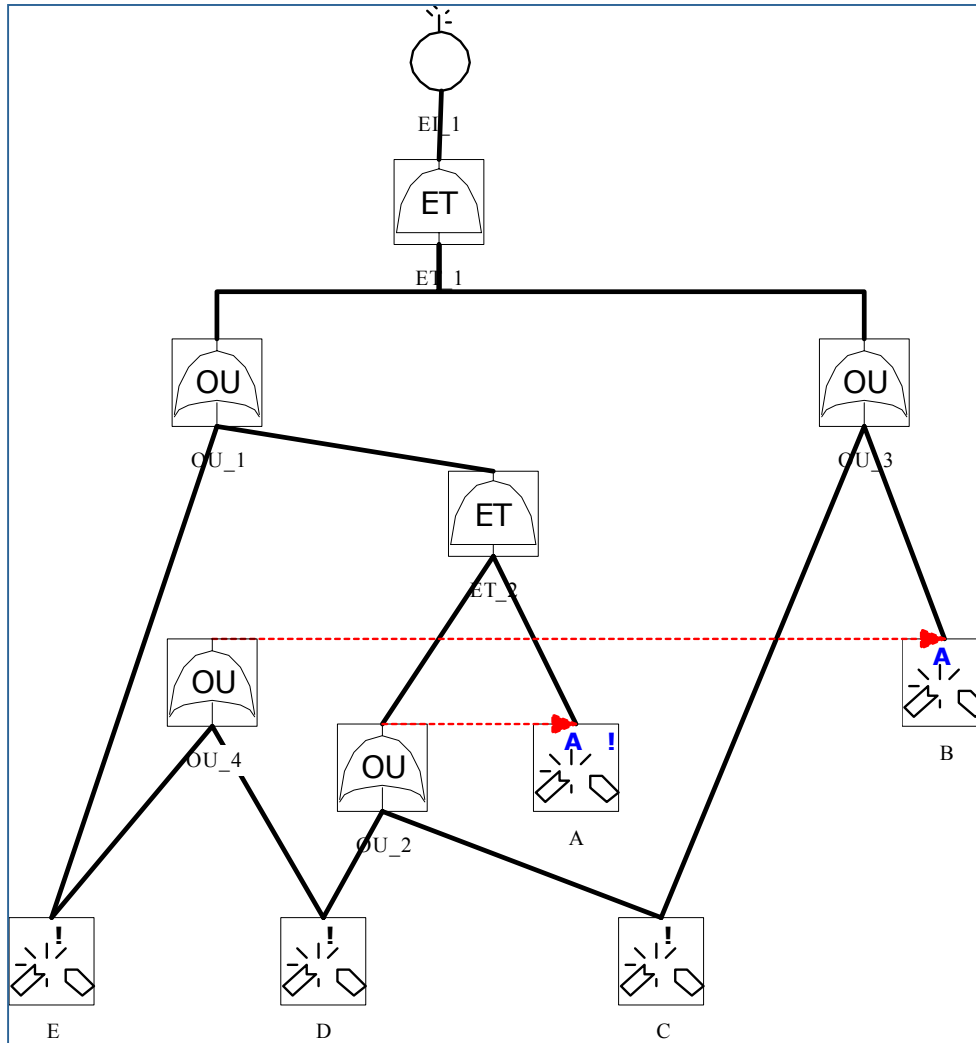
A sollicité si C ou D en panne

B sollicité si E ou D en panne

Exemple d'événements non pertinents :

**pertes de B ou D après perte de C**

# BDMP correspondant au cas test de A.Cabarbaye et L. Ngom



On vérifie (cf. transparents qui suivent) que l'on obtient exactement la même **défiabilité** en filtrant (28 séquences) ou en ne filtrant pas (60 séquences) les événements non pertinents

# Quantification Figseq (modèle non filtré)

RESULTATS GLOBAUX DE L'ETUDE SN				
Valeurs Estimees (sans prise en compte des sequences tronquees)	Valeurs Pessimistes (avec prise en compte des sequences tronquees)	Resultats fournis	Formules	
9,00E+03	9,00E+03	MTTF	somme des produits pb. asympt.* duree	
1,88E-02	1,88E-02	Defiabilite pour le temps de mission TM : Proba d'aller de l'etat initial a l'ens. des etats cibles avant TM	somme des probas des sequences a TM	
	<b>Probas(TM)</b>	<b>nb seq.</b>	<b>Cible n°</b>	<b>Expression booleene :</b>
	1,88E-02	60	1	real(EI_1)
	<b>1,88E-02</b>	<b>60</b>		
	<b>Probas(TM)</b>	<b>nb seq.</b>	<b>Etat absorbant</b>	
	0,00E+00	0		

## Début de la liste des séquences

Nombre de sequences : 60						
Num Seq.	Transitions			Proba TM	Duree Moy. Après init	Contrib.
	Nom	Taux	Type			
25	[deff DE C]	1,00E-04	EXP	4,06E-03	3,23E+03	2,16E-01
	[deff DE A]	1,00E-04	EXP			
55	[deff DE E]	1,00E-04	EXP	4,06E-03	3,23E+03	2,16E-01
	[deff DE B]	1,00E-04	EXP			
34	[deff DE C]	1,00E-04	EXP	4,06E-03	3,23E+03	2,16E-01
	[deff DE E]	1,00E-04	EXP			
56	[deff DE E]	1,00E-04	EXP	4,06E-03	3,23E+03	2,16E-01
	[deff DE C]	1,00E-04	EXP			
4	[defa DE A]	1,00E-05	EXP	4,06E-04	3,23E+03	2,16E-02
	[deff DE C]	1,00E-04	EXP			
24	[defa DE B]	1,00E-05	EXP	4,06E-04	3,23E+03	2,16E-02
	[deff DE E]	1,00E-04	EXP			
60	[deff DE E]	1,00E-04	EXP	1,32E-04	6,56E+03	7,02E-03
	[deff DE D]	1,00E-04	EXP			
	[deff DE C]	1,00E-04	EXP			
59	[deff DE E]	1,00E-04	EXP	1,32E-04	6,56E+03	7,02E-03
	[deff DE D]	1,00E-04	EXP			
	[deff DE B]	1,00E-04	EXP			

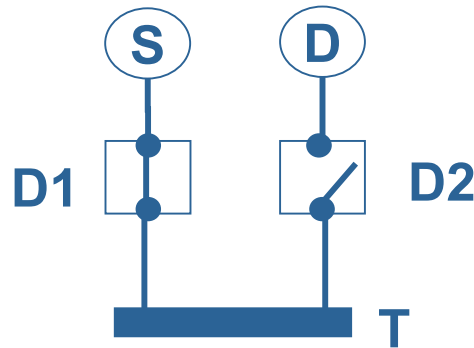
# Quantification Figseq (modèle filtré)

RESULTATS GLOBAUX DE L'ETUDE SN				
Valeurs Estimees (sans prise en compte des sequences tronquees)	Valeurs Pessimistes (avec prise en compte des sequences tronquees)	Resultats fournis	Formules	
9,00E+03	9,00E+03	MTTF	somme des produits pb. asympt.* duree	
1,88E-02	1,88E-02	Defiabilite pour le temps de mission TM : Proba d'aller de l'etat initial a l'ens. des etats cibles avant TM	somme des probas des sequences a TM	
	<b>Probas(TM)</b>	<b>nb seq.</b>	<b>Cible n°</b>	<b>Expression booleenne :</b>
	1,88E-02	28	1	real(EI_1)
	<b>1,88E-02</b>	<b>28</b>		

## Début de la liste des séquences

Nombre de sequences : 28						
Num Seq.	Nom	Transitions		Proba TM	Duree Moy. Après init	Contrib.
		Taux	Type			
28	[deff DE E]	1,00E-04	EXP	4,21E-03	5,00E+03	2,24E-01
	[deff DE C]	1,00E-04	EXP			
27	[deff DE E]	1,00E-04	EXP	4,21E-03	5,00E+03	2,24E-01
	[deff DE B]	1,00E-04	EXP			
18	[deff DE C]	1,00E-04	EXP	4,21E-03	5,00E+03	2,24E-01
	[deff DE E]	1,00E-04	EXP			
17	[deff DE C]	1,00E-04	EXP	4,21E-03	5,00E+03	2,24E-01
	[deff DE A]	1,00E-04	EXP			
4	[defa DE A]	1,00E-05	EXP	4,06E-04	3,23E+03	2,16E-02
	[deff DE C]	1,00E-04	EXP			
16	[defa DE B]	1,00E-05	EXP	4,06E-04	3,23E+03	2,16E-02
	[deff DE E]	1,00E-04	EXP			
24	[deff DE D]	1,00E-04	EXP	1,33E-04	7,50E+03	7,04E-03
	[deff DE C]	1,00E-04	EXP			
	[deff DE E]	1,00E-04	EXP			
23	[deff DE D]	1,00E-04	EXP	1,33E-04	7,50E+03	7,04E-03
	[deff DE C]	1,00E-04	EXP			
	[deff DE A]	1,00E-04	EXP			

# Comparaison Petri-BDMP sur la modélisation d'un petit système électrique



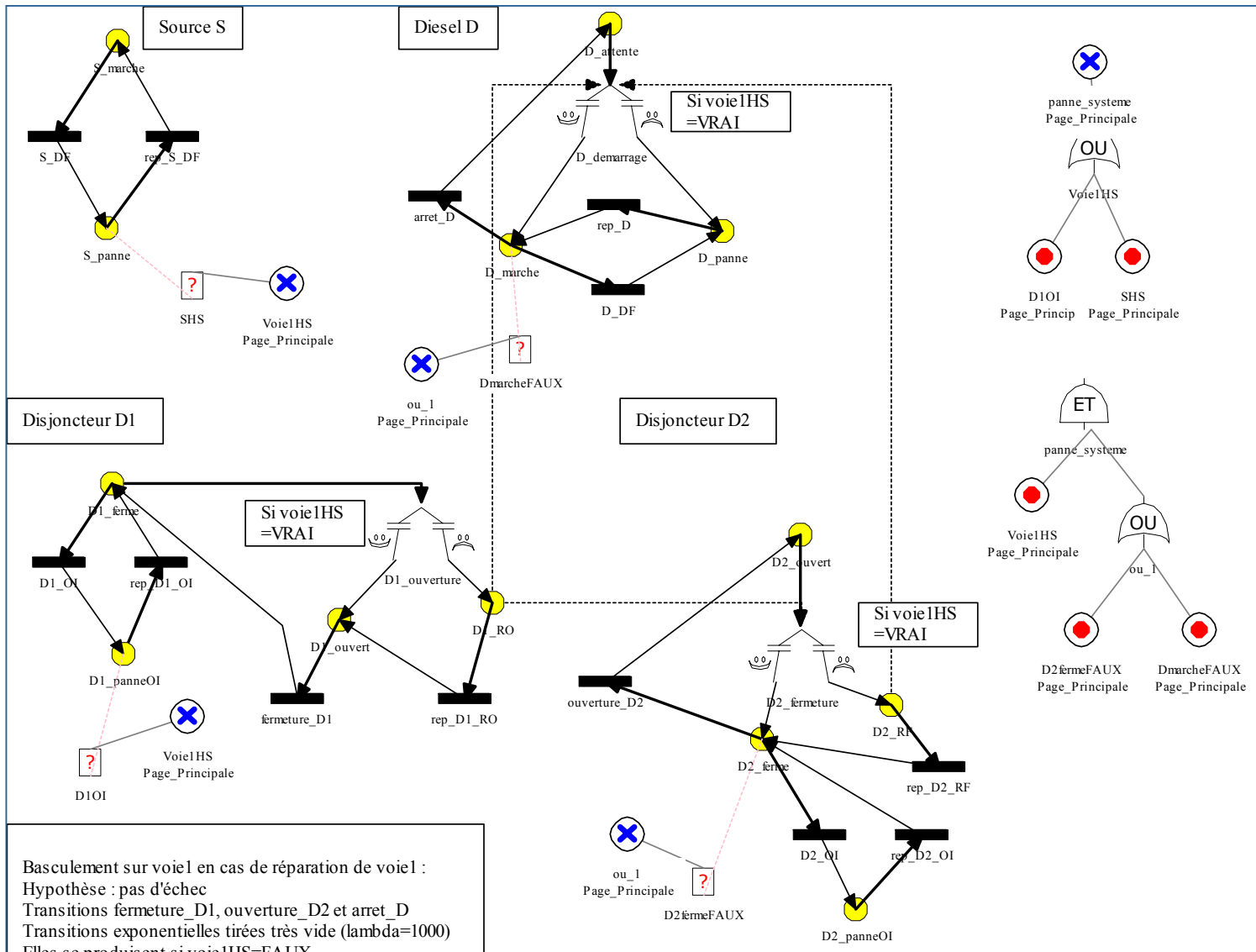
## Hypothèses

**Initialement:** le tableau T est alimenté par la source S, le disjoncteur D1 est fermé, le disjoncteur D2 est ouvert, le diesel D est à l'arrêt

T est non défaillant, S peut tomber en panne DF, D1 peut s'ouvrir intempestivement (OI). Pour basculer sur le diesel : D1 doit s'ouvrir pour que D2 puisse se fermer (D1 et D2 sont couplés). Si D2 est fermé, le diesel est sollicité au démarrage. S'il a démarré, il peut tomber en panne DF. S'il est fermé, D2 peut s'ouvrir intempestivement (OI)

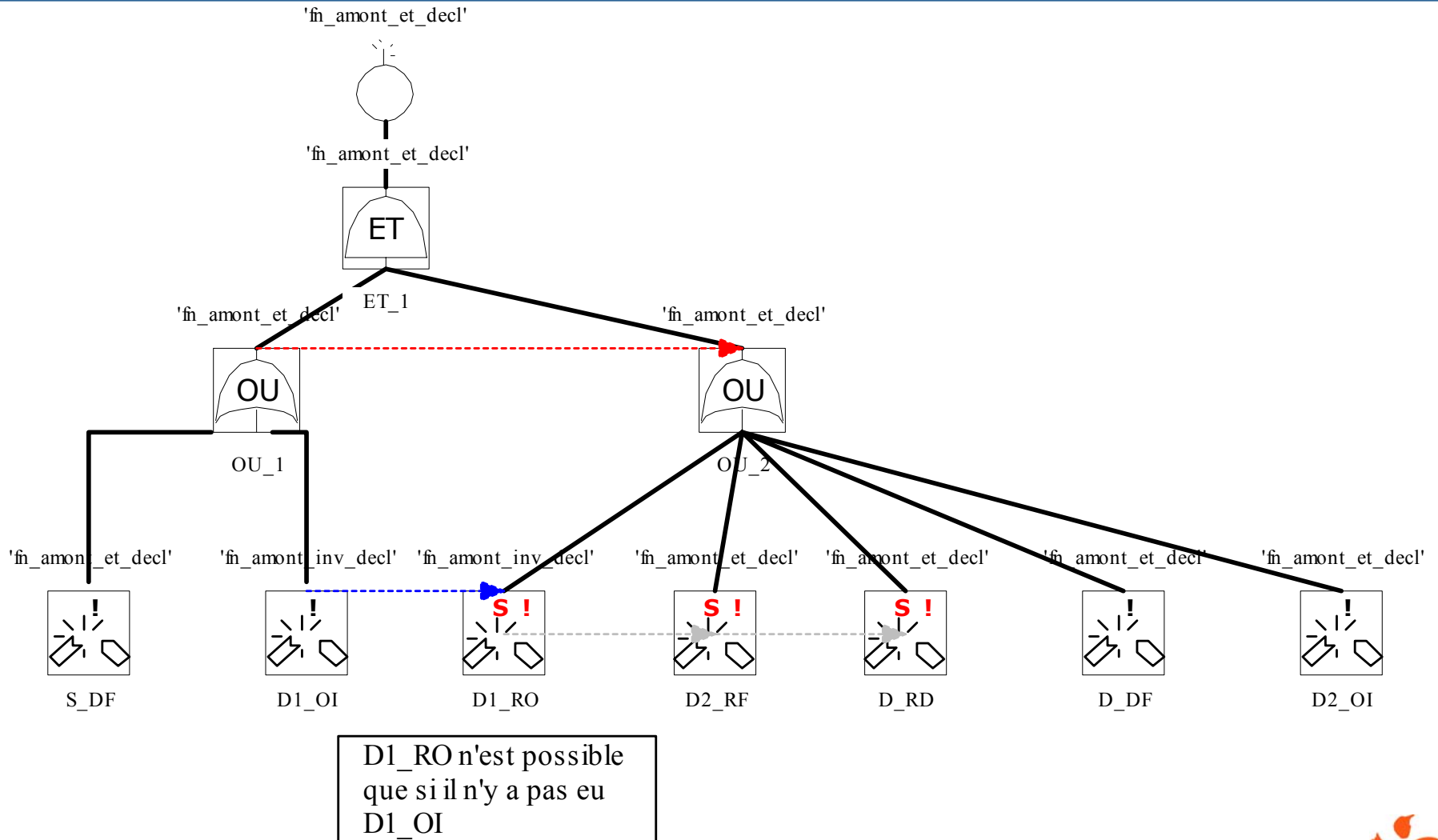
Le système est réparable, mais on ne prend pas en compte les défaillances lors d'une reconfiguration consécutive à une réparation

# Modélisation avec KB3 et la BDC Petri



Basculement sur voie1 en cas de réparation de voie1 :  
 Hypothèse : pas d'échec  
 Transitions fermeture\_D1, ouverture\_D2 et arret\_D  
 Transitions exponentielles tirées très vite ( $\lambda=1000$ )  
 Elles se produisent si  $voie1HS=FAUX$

# Modélisation avec KB3 et la BDC BDMP



# Comparaison des quantifications faites avec FIGSEQ

## PETRI

### RESULTATS GLOBAUX DE L'ETUDE SRI

Valeurs Estimees (sans prise en compte des sequences tronquees)	Valeurs Pessimistes (avec prise en compte des sequences tronquees)	Resultats fournis	Formules
7,98E-07	7,99E-07	Lambda equivalent	$Leq = 1 / MTTF$ $= Linit * Epsilon$
1,25E+06	1,25E+06	MTTF	MTTF
7,98E-04	7,98E-04	Defiabilite pour le temps de mission TM : Proba d'aller de l'etat initial a l'ens. des etats cibles avant TM	

## BDMP

### RESULTATS GLOBAUX DE L'ETUDE SRI

Valeurs Estimees (sans prise en compte des sequences tronquees)	Valeurs Pessimistes (avec prise en compte des sequences tronquees)	Resultats fournis	Formules
8,98E-07	8,98E-07	Lambda equivalent	$Leq = 1 / MTTF$ $= Linit * Epsilon$
1,12E+06	1,12E+06	MTTF	MTTF
8,98E-04	8,98E-04	Defiabilite pour le temps de mission TM : Proba d'aller de l'etat initial a l'ens. des etats cibles avant TM	

Quantitativement, les résultats sont relativement proches. Les différences s'expliquent par des différences de modélisation que l'on peut analyser en regardant les séquences

## Par exemple

- dans notre modèle Petri, lors du basculement sur la voie du diesel, les disjoncteurs et le diesel sont sollicités en même temps alors que dans le modèle BDMP, on a une séquence de basculement interrompue dès le 1er échec

Remarque: dans un grand nombre de situations, BDMP donne des résultats satisfaisants pour un effort de modélisation très faible, mais pour modéliser des flux de matière ou d'objets, PETRI reste le modèle le mieux adapté

# 5

## Application à des systèmes réels

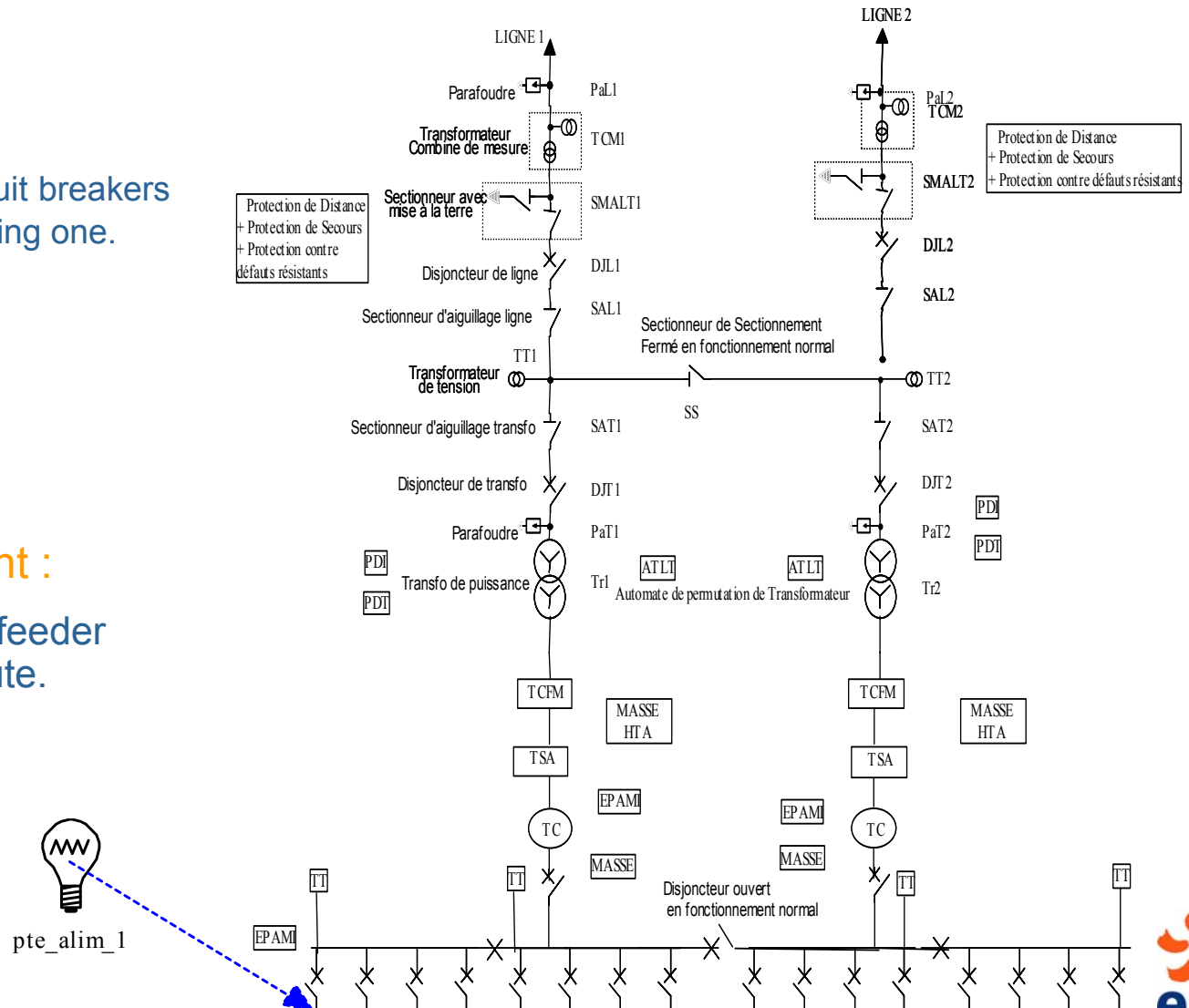
Les BDMP permettent d'étudier des systèmes d'une taille environ 10 fois supérieure à ce que l'on pouvait faire avant

# Example: the study of a substation type "d" EDF (90kV - 20 kV) - 1

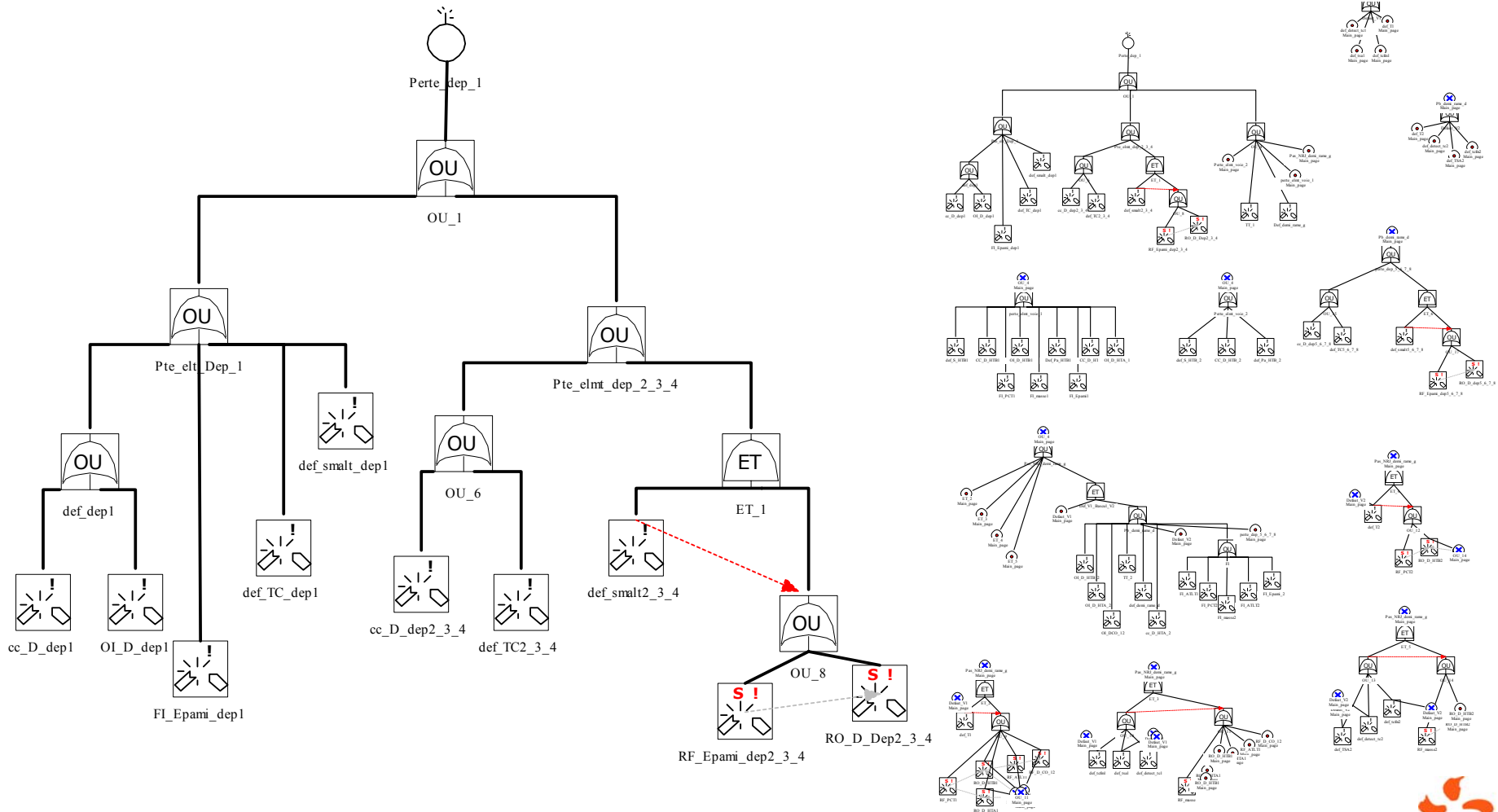
**Hypothesis** : All circuit breakers closed except the coupling one.

**Undesirable event** :

Loss of one outgoing feeder longer than 1 minute.



# Modeling it with KB3-BDMP: description of the functioning and of the protection relay system



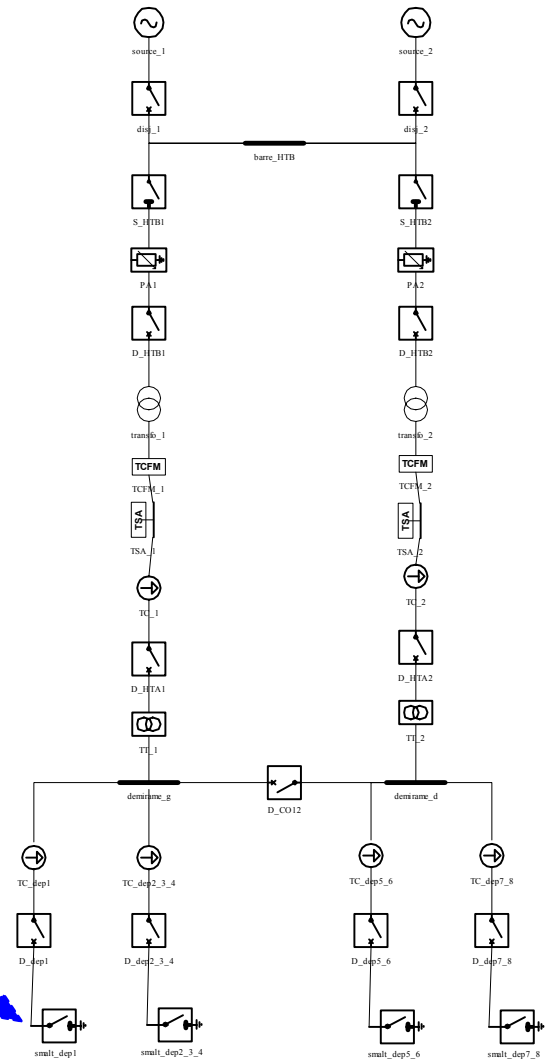
# Global results: Substation type "d"

## Global results (obtained with FIGSEQ)

Type of result	Value
Equivalent lambda	5,27E-06
MTTF	21,7 years
Unavailability rate	2,92E-05
Unavailability / year	15 min.

### Undesirable event :

Loss of one outgoing feeder longer than 1 minute.



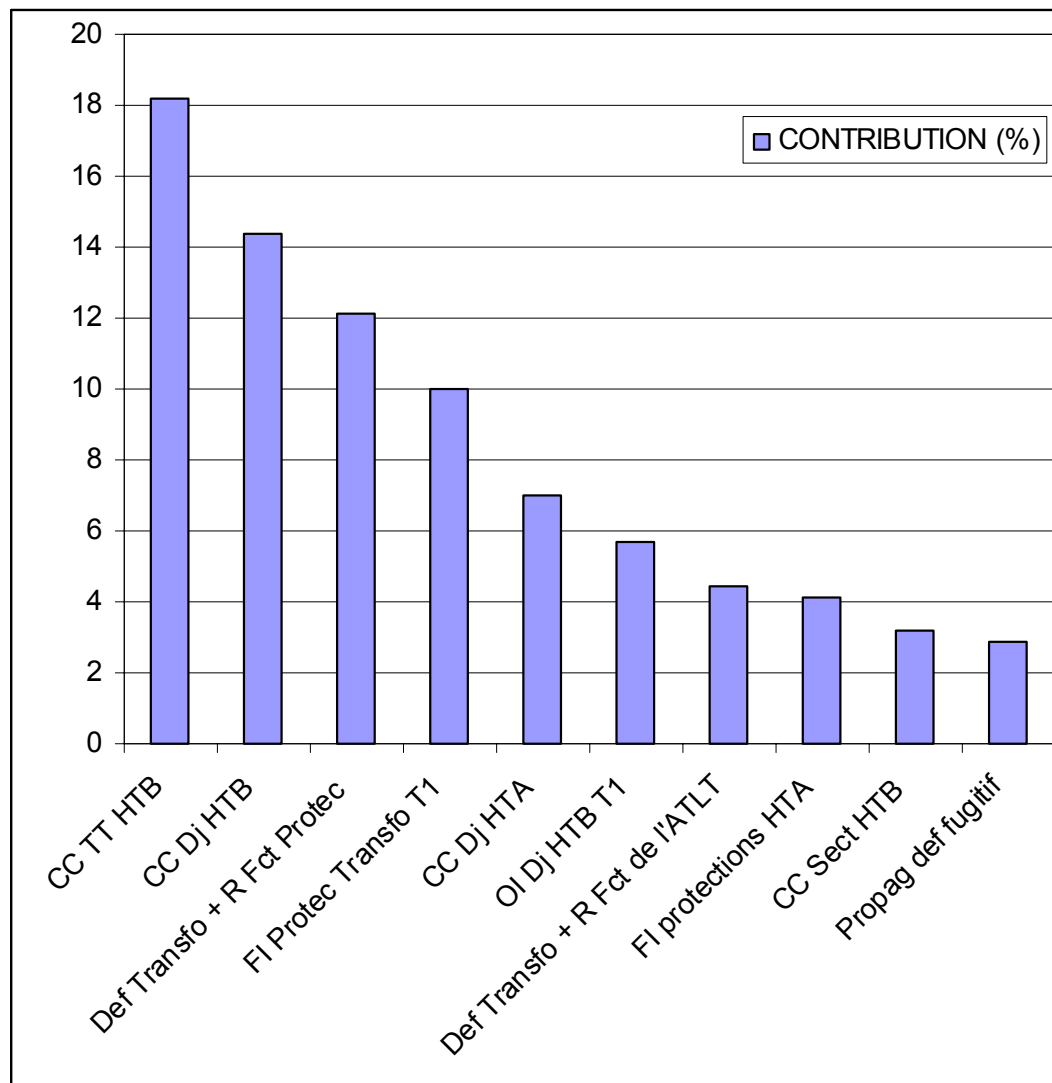
# Detailed results:

## Reliability

CC\_TT\_HTB 18,2 %

CC\_DJ\_HTB 14,3 %

Def. Transfo +  
RFct Protec 12,1 %



# Detailed results:

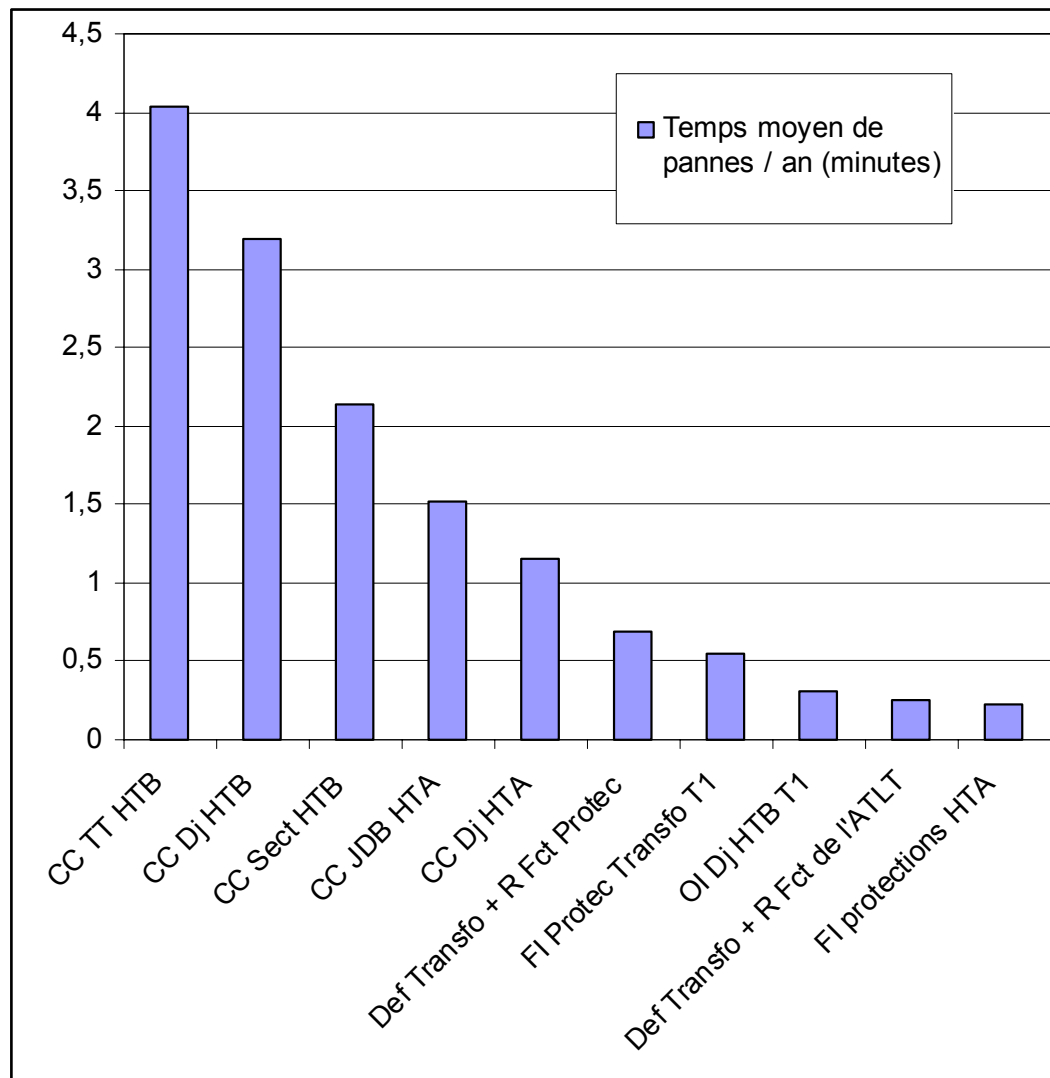
## Unavailability

CC\_TT\_HTB 26,3 %

CC\_DJ\_HTB 20,8 %

CC\_Sect\_HTB 13,9 %

The importance of components is not the same as for reliability



# External references for our reliability studies

## KB3 BDMP

- ESKOM (South Africa): HV substation studies
- SOLLAC (Fr): Study of the electrical supply of a steel works
- Internet hostel (Fr): Internal electrical network
- Offshore wind farm (Fr) : Joining on the French grid

## KB3 OPALE

- Studies of internal electrical networks for different customers
  - Printing works
  - Agro-alimentary
  - Micro-electronics
- London City Airport : Study of the electrical supply



# 5

## L'outil OPALE de calcul de la fiabilité et disponibilité des syst électriques

Rendre les BDMP accessibles à des non spécialistes de la sûreté de fonctionnement des systèmes



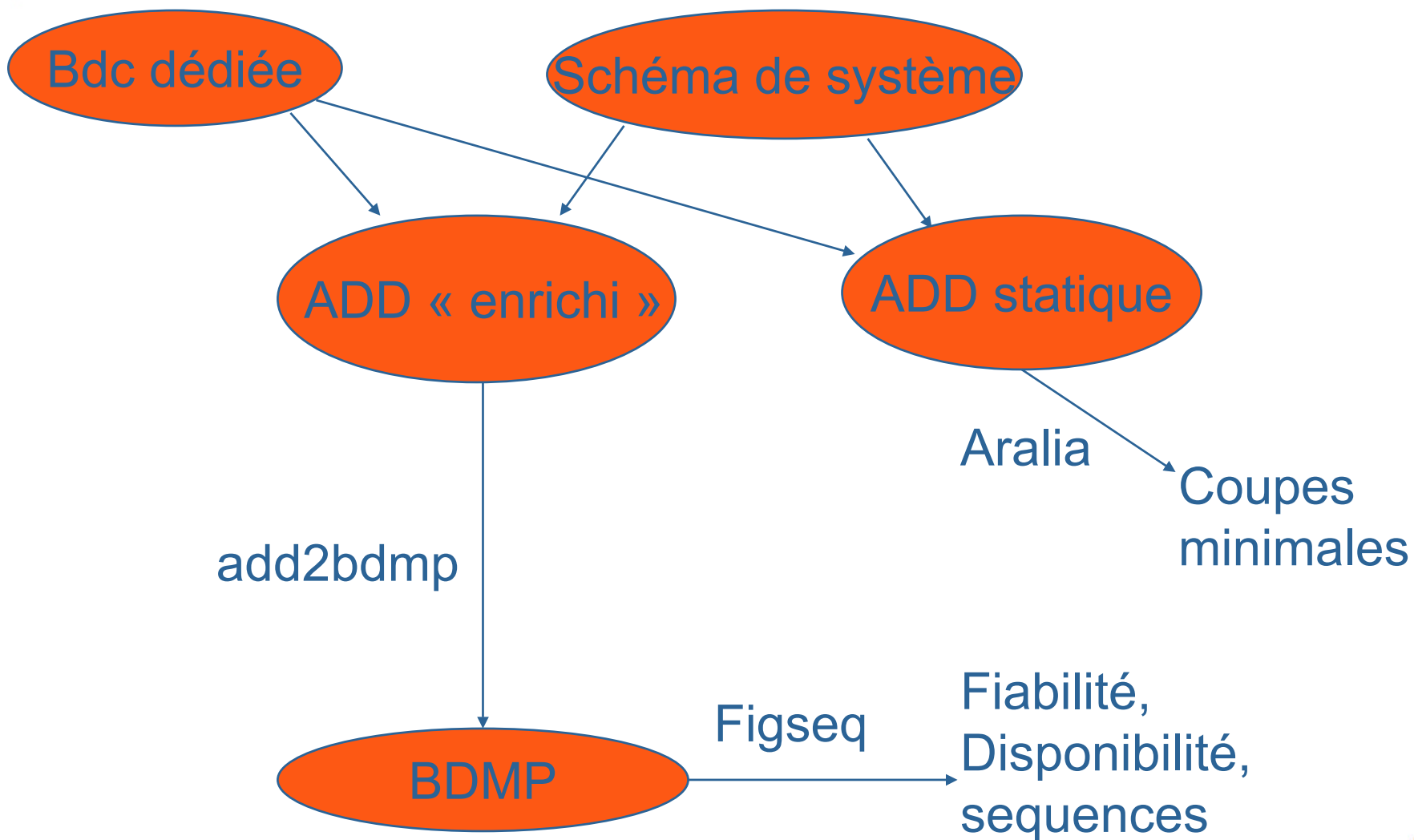
**Objectifs : Evaluation de fiabilité et de disponibilité de réseaux électriques à partir d'une saisie du schéma physique (outil accessible à des non fiabilistes)**

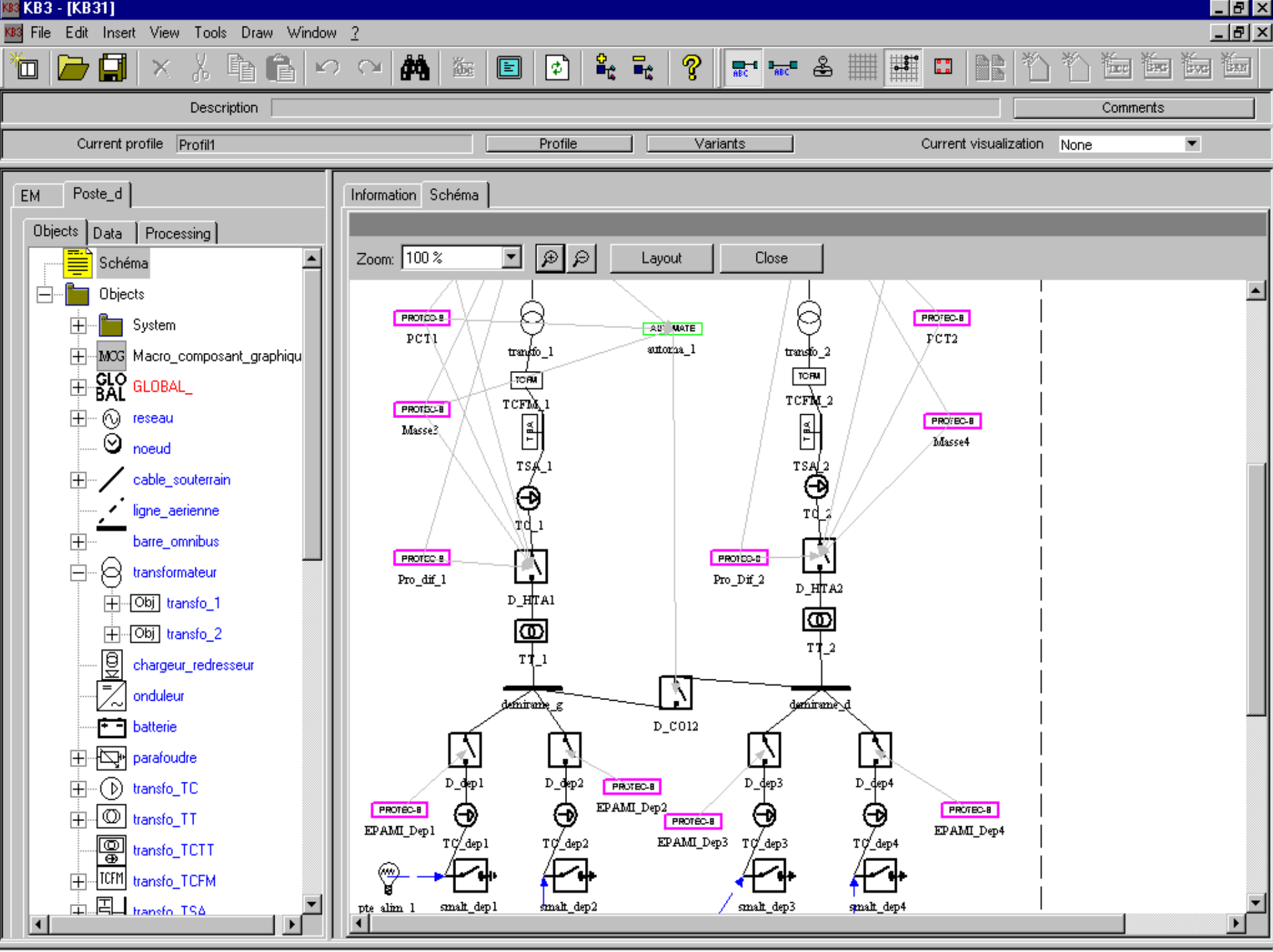
**Principes :**

**Transformation automatique du schéma physique saisi et du top défini en un modèle dynamique sous le format BDMP.**

**Traitement avec FIGSEQ**

# Enchaînement des opérations





# 6

## Conclusion

# En résumé, les BDMP

Sont un formalisme très général et offrant un grand pouvoir de modélisation

Sont faciles à maîtriser car leur représentation est proche de celle des arbres de défaillances, bien connus des fiabilistes

Permettent de donner une vision structurée et très concise de Processus de Markov complexes

Possèdent des propriétés mathématiques diminuant considérablement la combinatoire des traitements

# Questions ?



Téléchargez KB3-BDMP et de la documentation (articles, manuels utilisateur) : <http://rdsoft.edf.fr>

**Seule** limite de la version de démonstration : 80 objets maximum dans un modèle

Références et articles à télécharger sur :  
<http://perso-math.univ-mlv.fr/users/bouissou.marc/>