

Conception par Ingénierie Dirigé par les Modèles d'un outil pour l'analyse de vulnérabilité dans un contexte de changement climatique

Romain Lardy
18 octobre 2013



Plan

- Introduction/contexte/problématique
- Conception d'un outil générique pour l'analyse de vulnérabilité (AV)
 - Méta-modèle
 - Implémentation sous Eclipse Modeling Framework (EMF)
- Modèles et applications
 - Modèles
 - Instanciation
- Conclusion et perspectives

Problématique

- Comment évaluer la **vulnérabilité** des systèmes modélisés en agronomie ?
 - vulnérabilité des prairies au changement climatique
 - plusieurs modes de calcul de la vulnérabilité
 - plusieurs types de modèles agronomiques
- Comment réaliser un outil logiciel générique **automatisant** l'étude de la vulnérabilité en modélisation agronomique ?
 - généricité (pour différents modèles agronomiques, et différents modes de calcul)
 - intégrant la **conception** et **l'analyse** et la **distribution de plans d'expériences de simulation**
 - utilisant **l'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM)**
 - adapté à différents types de plateformes de calcul intensif (SMP, clusters, grilles,...)

Notion de vulnérabilité en écologie

- [Kasperson et al., 2003] et [Turner et al., 2003]

Degré de stress ou de perturbation qu'un système humain ou environnemental est **capable de supporter** avant d'être endommagé.

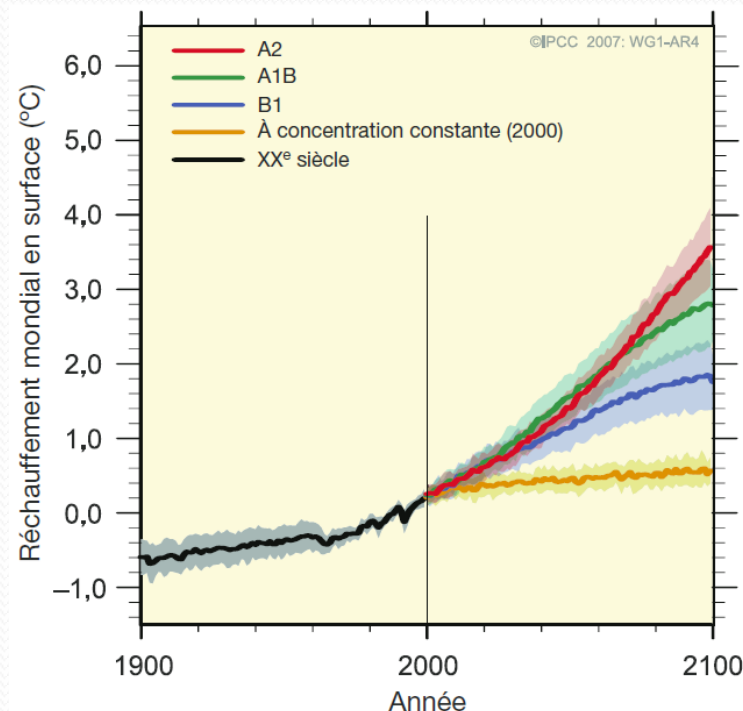
- [GIEC 2001]

Mesure dans laquelle un système est **sensible** - ou incapable de faire face - aux **effets défavorables** des changements climatiques, y compris la variabilité du climat et les phénomènes extrêmes.

Contexte

- Le changement climatique (CC)
 - Changement de température, de régime de précipitation, de fréquence des événements extrêmes ...
 - Dû à l'augmentation des Gaz à Effet de Serre (GES)
 - Fortes incertitudes

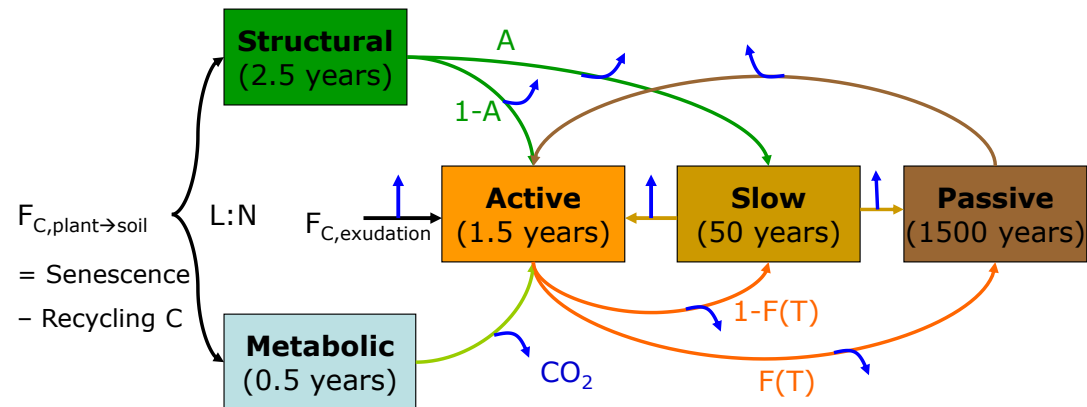
- Les prairies
 - Élément clé du système fourrager
 - Sources et puits de GES
 - Vulnérables au CC



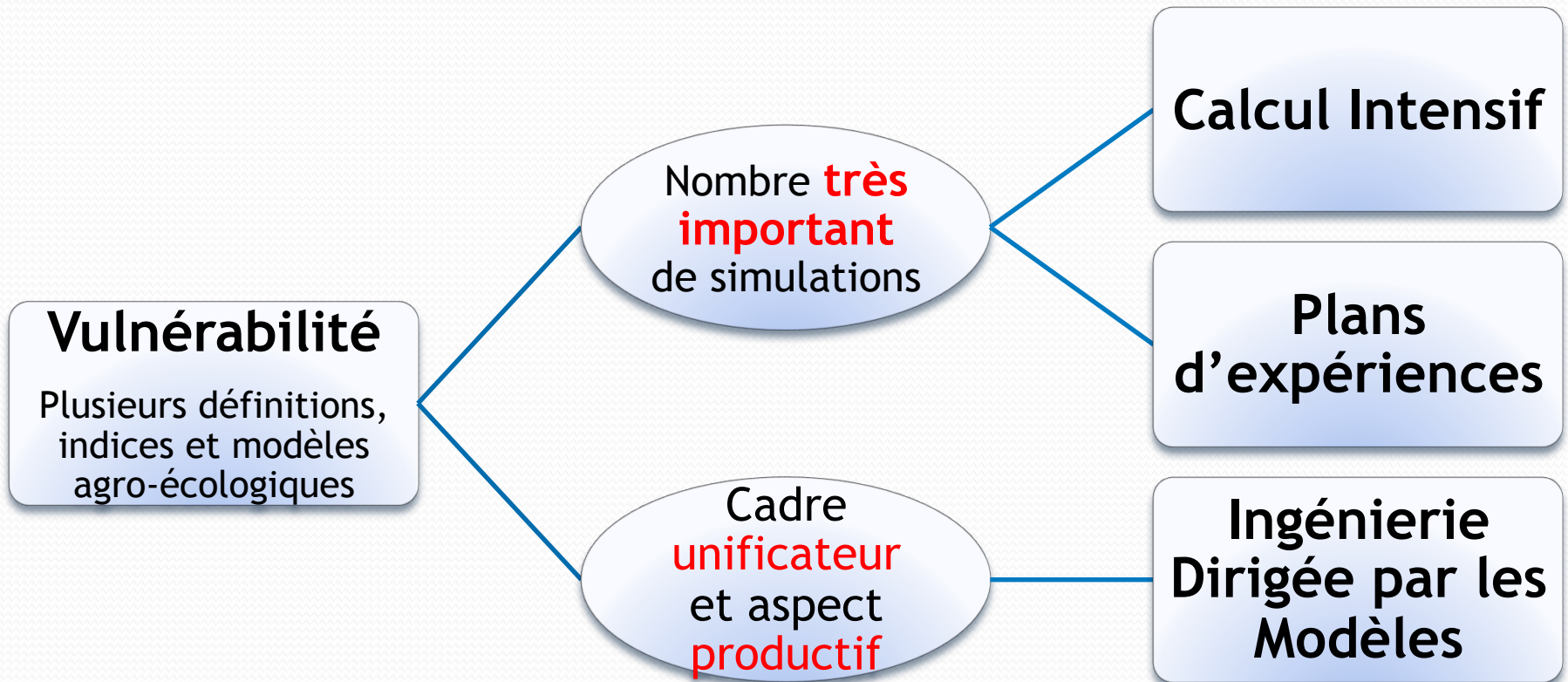
Contexte

- Un modèle de prairie PaSim
 - Cycle carbone, azote, eau, énergie à l'échelle de la parcelle
 - Modèle déterministe et mécaniste
 - Approprié pour des simulations d'impacts du changement climatique
 - Temps de calculs non négligeables

Exemple du sous-modèle sol :



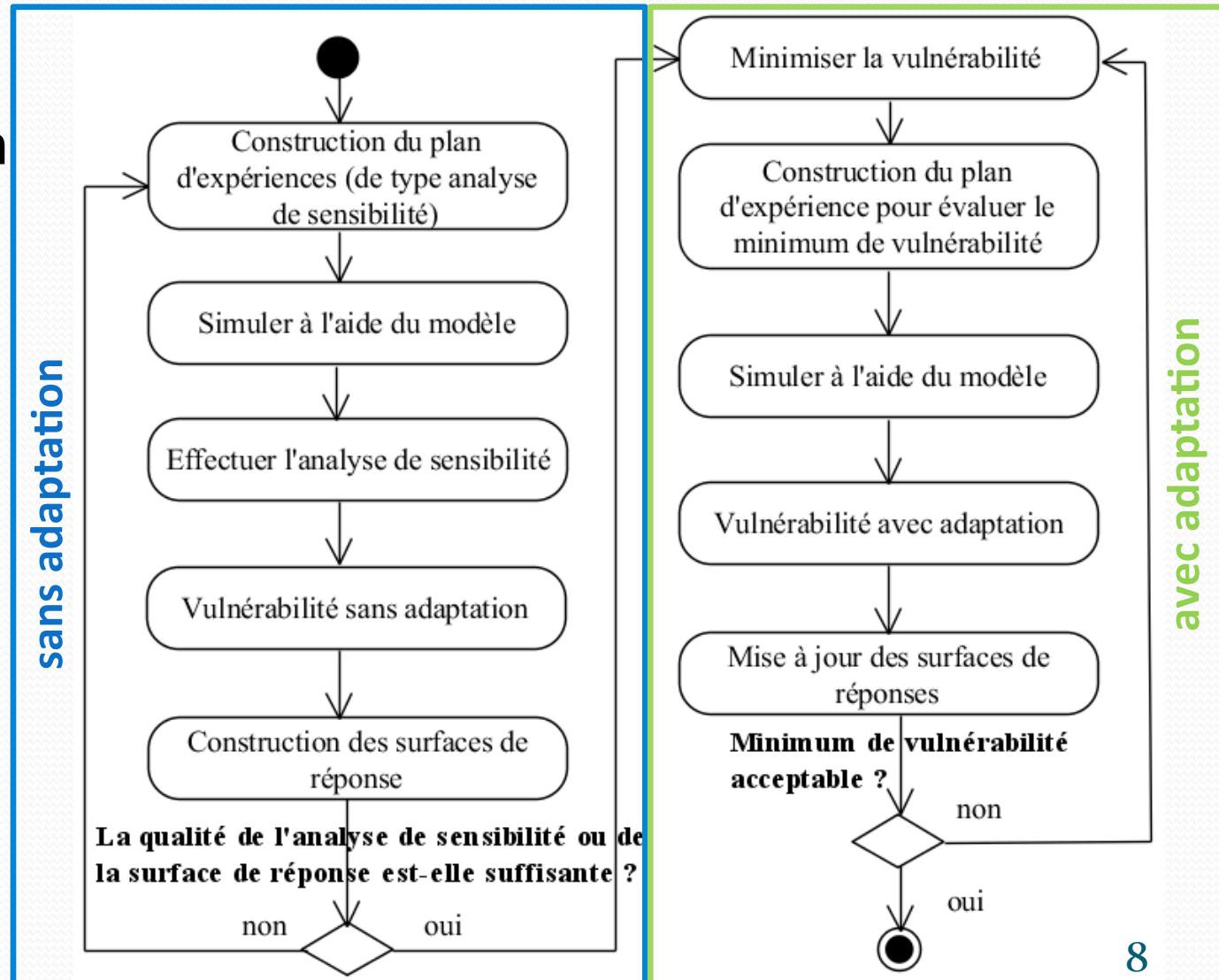
Notre approche du problème



Proposition d'une approche pour l'analyse de vulnérabilité

Une approche en deux étapes

1. Analyse de sensibilité
2. Recherche d'un min de vulnérabilité



Plan

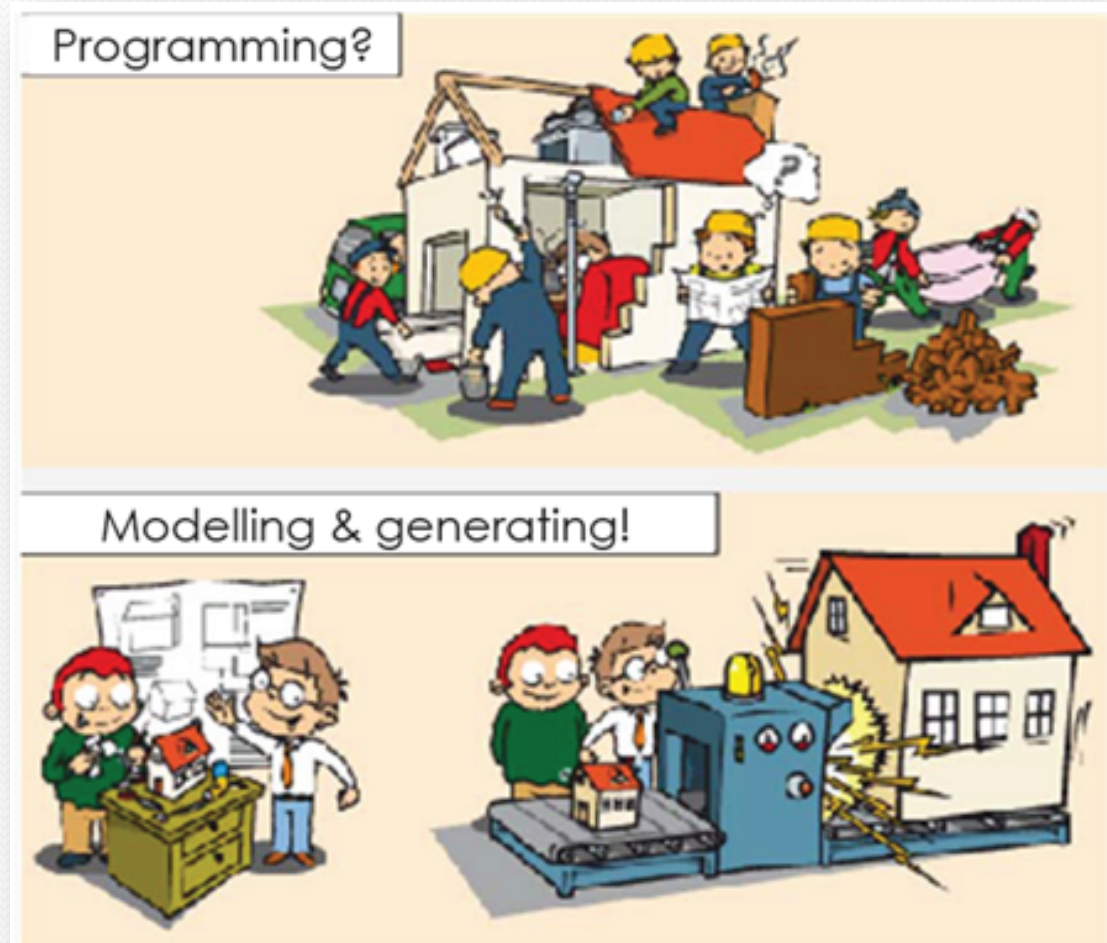
- Introduction / contexte / problématique
- **Conception d'un outil générique pour l'AV**
 - Méta-modèle
 - Implémentation sous EMF
- Modèles et applications
 - Modèles
 - Instanciation
- Conclusion et perspectives

Conception d'un outil générique pour l'AV

- Implémentation de la méthode d'analyse de vulnérabilité
 - Générique par rapport aux modèles agro-écologiques
 - Générique par rapport aux plans d'expériences (DOE)
- Approche d'Ingénierie Dirigée par les Modèles (IDM)
 - Concevoir des modèles (« représentation de la réalité »)
 - Concevoir un métamodèle d'un domaine auquel **tout modèle** de ce domaine « **est conforme** »
 - Transformations de modèles dont la production automatique de code

Conception d'un outil générique pour l'AV

- Approche classique: Programmer directement les scripts
- IDM :
 1. Conception du métamodèle
 2. Construction de l'outil et génération de scripts



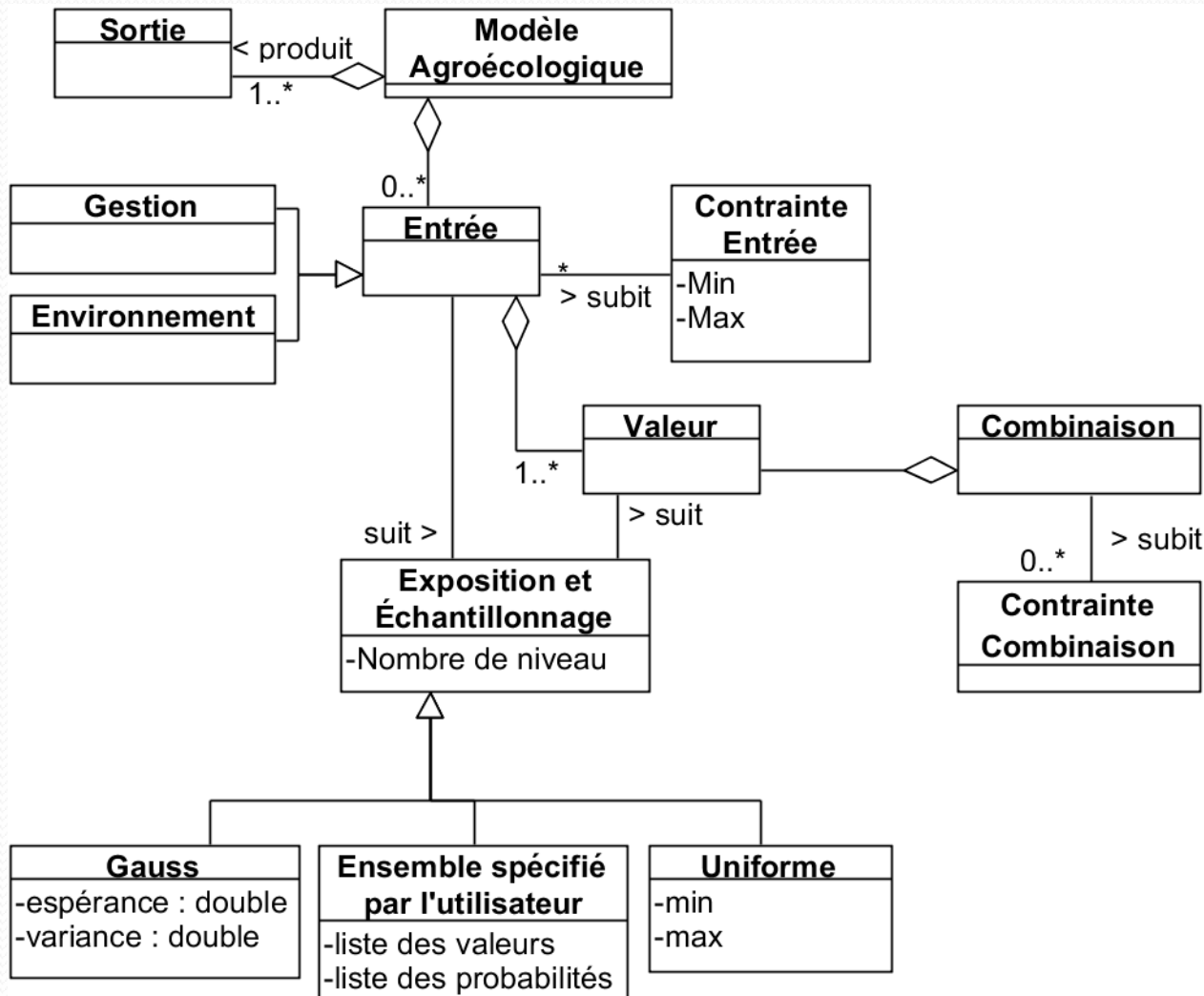
Conception d'un outil générique pour l'AV

- Rétro-ingénierie sur les plans d'expériences
 - Projections d'impacts du changement climatique
 - Analyse de sensibilité
 - Simulations avec gestion automatique
- Proposition de plans d'expériences pour l'analyse de vulnérabilité
 - Prise en compte de différentes sources d'incertitudes : climatiques, évènements extrêmes, gestion, ...

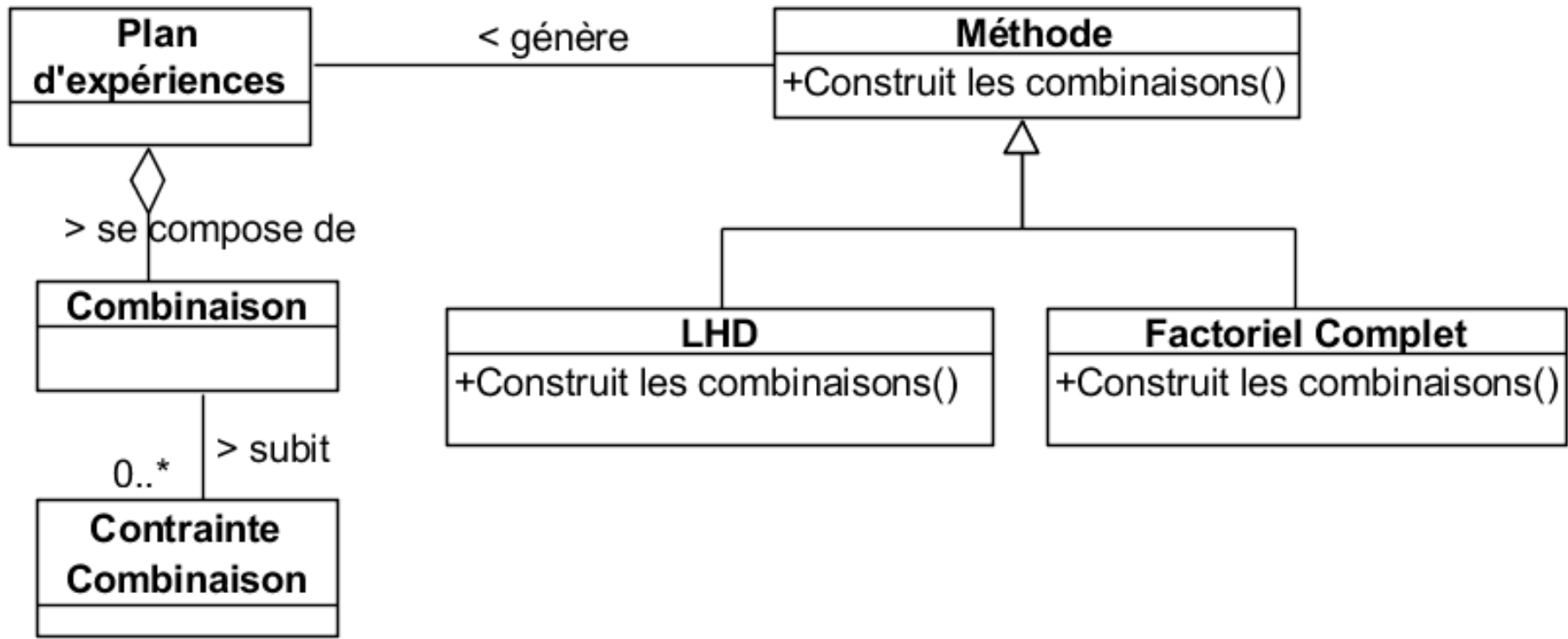
Proposition d'un métamodèle

- Composé de trois sous-parties:
 - Le modèle agro-écologique
 - Le plan expérimental
 - L'analyse de vulnérabilité
- Outillage IDM: *Eclipse Modeling Framework*
 - Intégration des concepts d'IDM dans l'IDE *Eclipse*
 - Conception d'une interface relativement simple d'utilisation du métamodèle

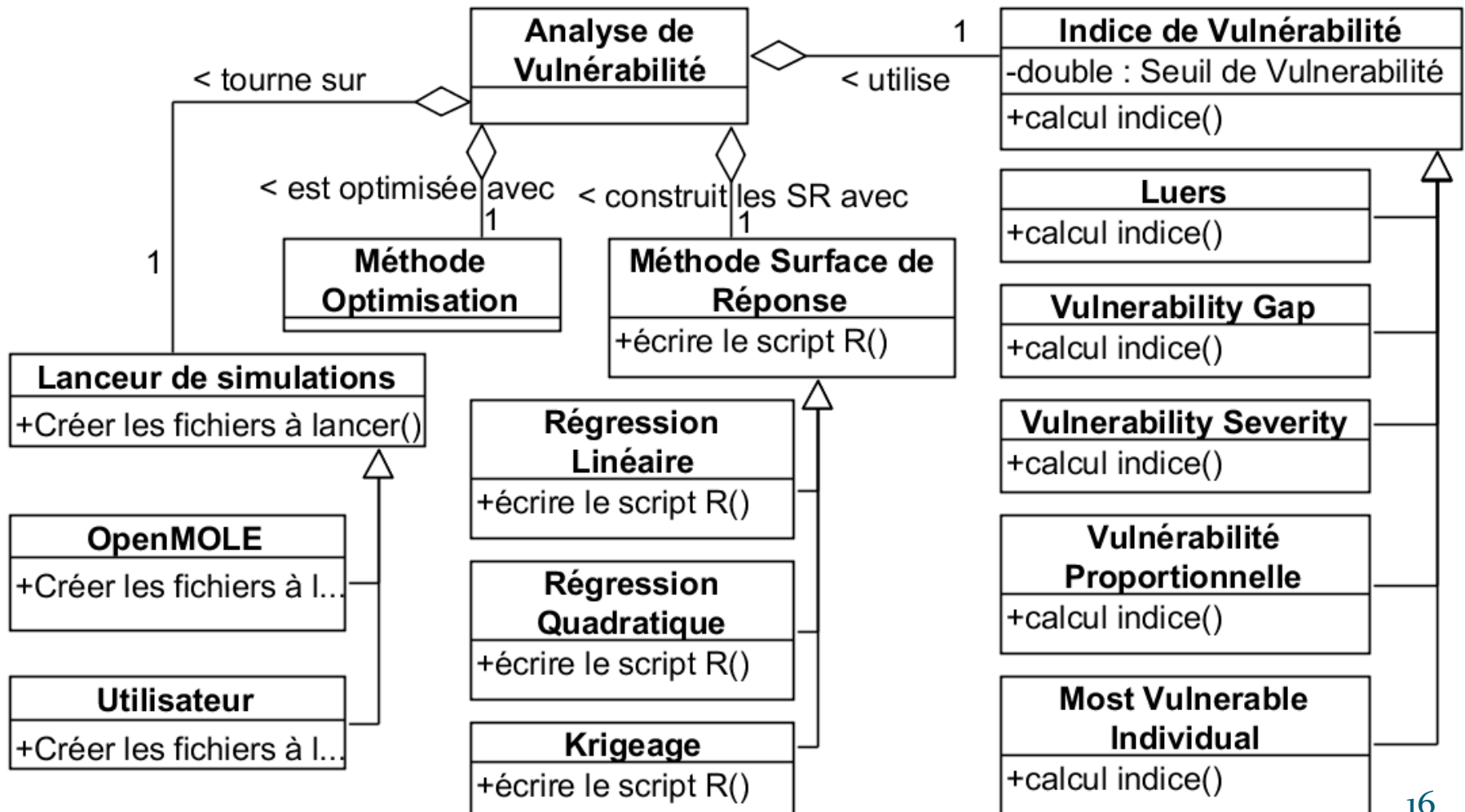
Métamodèle du modèle agro-écologique générique



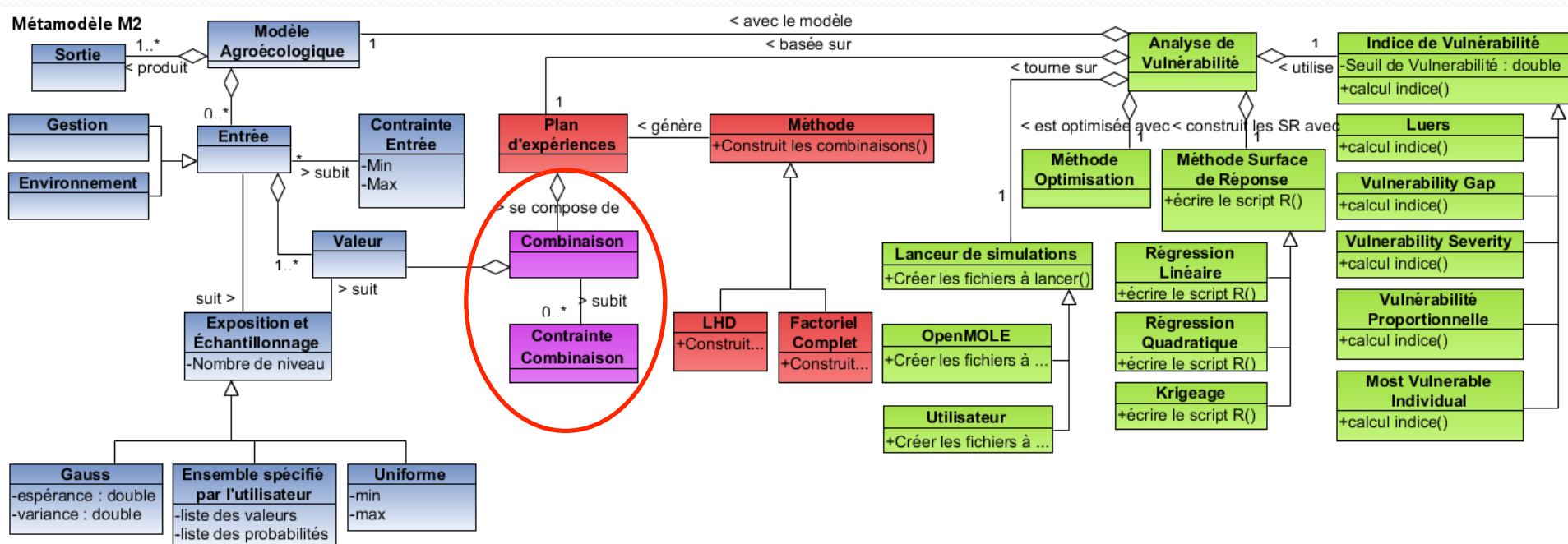
Métamodèle des plans expérimentaux



Métamodèle de l'analyse de vulnérabilité

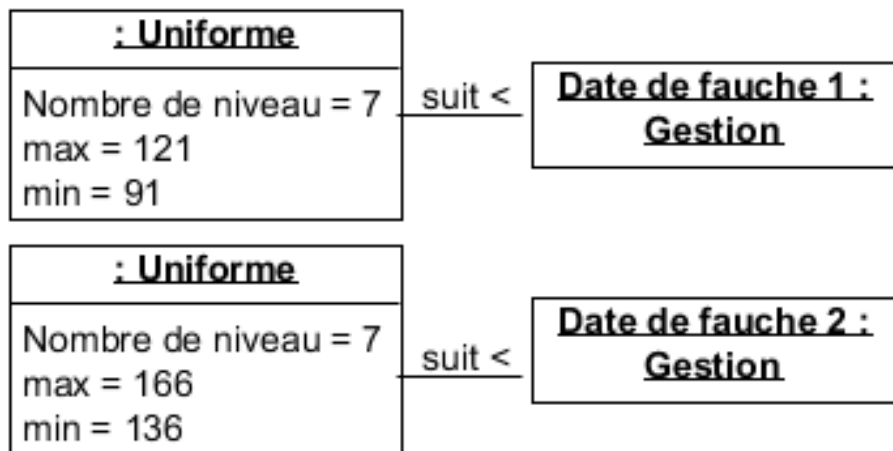
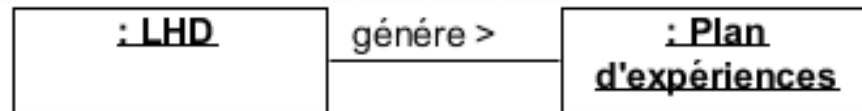


Métamodèle complet



Implémentation sous EMF

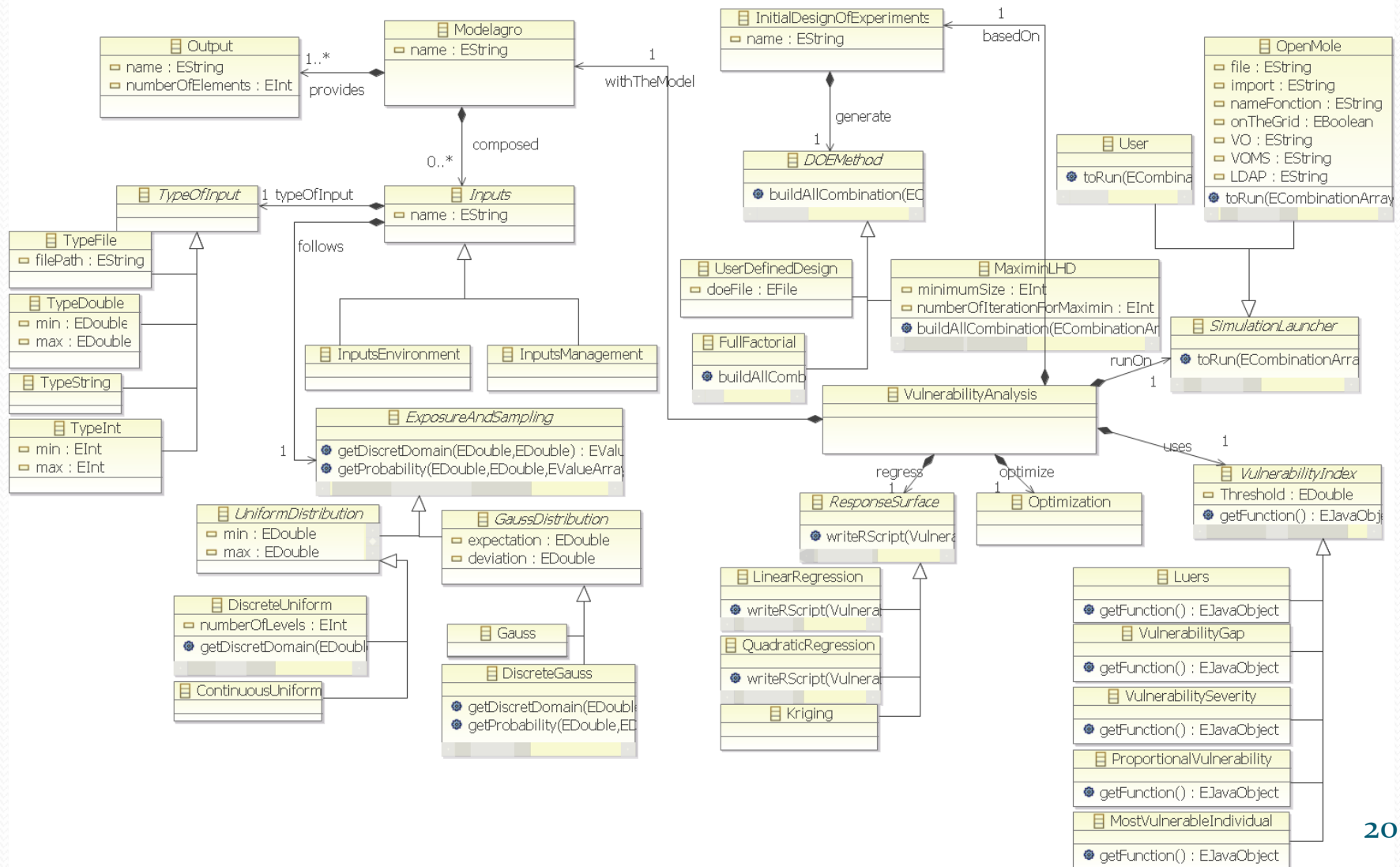
- Gestion du chemin d'instanciation :
 - Valeur, Combinaison et Contrainte Combinaison implémentées après la saisie



Implémentation sous EMF

- Spécification de la nature informatique des entrées (entiers, réels, fichiers...) : classe **TypeOfInput**
- Possibilité de gérer les cas discrets ou continus : classes virtuelle **Gauss** et **Uniform**
- Possibilité de spécifier son **propre plan d'expériences**, (remplace la classe **Ensemble** spécifié par l'utilisateur)

Implémentation sous EMF



Implémentation sous EMF

y/MyVulnerabilityAssessmentTutorial.metamodel - Eclipse Platform

ability Model Window Vulnerability Assessment Help

Assess Vulnerability

MyVulnerabilityAssessmentTutorial.metamodel

Resource Set

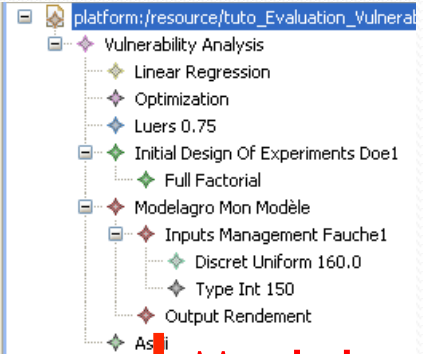
platform:/resource/tuto_Evaluation_Vulnerability/MyVulnerabilityAssessmentTutorial.metamodel

- Vulnerability Analysis
 - Linear Regression
 - Optimization
 - Luers 0.75
 - Initial Design Of Experiments Doe1
 - Full Factorial
 - Modelagro Mon Modèle
 - Inputs Management Fauche1
 - Discret Uniform 160.0
 - Type Int 150
 - Output Rendement
 - Ascii

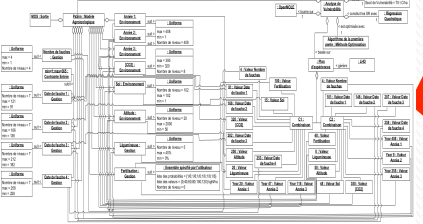
Min	169.0
Number Of Levels	10

Implémentation sous EMF

Entrées (XML)



Model to
Model
Instances (java)



Transformations
de modèles

Produits

Utilise

Plan d'expériences

DOE.PEAK	Year3	Year3 DOE	about	Cut1	Cut2	Cut3	Cut4	leaves	Offset	altitude	wind	silt	clay	depth	density	pH								
-389	50850276620	31	9614733927674	72	8248215267990	330	2	111	141	0	0	2	120	0	550	0	15	4	0	45	300	0	1	
-135	18385210122	93	4237623282875	274	8423664779963	330	1	116	0	0	1	80	0	1000	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-149	4813397084608	70	4674053791607	243	1039737900085	350	4	141	147	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-180	7461440933081	-184	4337512741806	-93	980826740931	330	4	116	132	258	1	0	0	0	0	0	15	4	0	4	4	209	0	1
-212	620376191844	26	221323099643	43	194433748617	330	1	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-112	934851640427	-70	308894642323	148	622088808718	320	1	76	151	201	0	1	80	0	900	0	0	26	0	0	0	0	0	1
-101	82328938035	-117	2379447926466	204	36120002379	330	4	116	132	238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-112	2369318402764	-144	346346423024	276	983473465236	300	1	111	144	0	0	2	40	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-131	812749180141	-121	14859180141	183	8774945943	330	1	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-276	1584297642474	-184	48644231784316	233	8013156037426	330	2	101	141	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-141	620376191844	26	221323099643	43	194433748617	330	1	123	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-349	3309496281364	-143	4081422798933	-253	5270374483964	330	2	110	136	182	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-228	6203237400978	72	424547493036	71	1444563092567	300	2	113	151	0	0	2	80	0	900	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-47	34889319782636	70	2010657786936	167	3984714488747	320	2	106	141	207	0	4	40	0	100	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-278	1482632100978	-262	409243440944	403	844704897461	320	2	106	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-115	800077361976	-185	32043617027640	276	98447646216	300	2	106	141	190	0	3	40	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-623	632746930305	0	15944377088960	375	844887693030	330	2	116	141	207	0	2	40	0	800	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-212	917018074477	-121	479470793123	208	40977039276	330	1	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-242	7347791277453	50	6570394201422	204	7324283418345	370	4	103	164	202	250	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-201	2269701894819	196	2327097609446	295	0840054620794	300	3	94	146	187	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-100	7123268702406	-62	20746285147374	11	2787636205945	380	4	116	144	187	248	0	2	120	0	900	0	0	0	0	0	0	0	1
-814	2210618202370	-121	479470793123	208	40977039276	330	1	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-242	020870202370	-70	308894642323	148	622088808718	320	1	76	151	201	0	1	80	0	900	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-112	2369318402764	-144	346346423024	276	983473465236	300	1	111	144	0	0	2	40	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-101	82328938035	-117	2379447926466	204	36120002379	330	4	116	132	238	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-112	2369318402764	-144	346346423024	276	983473465236	300	1	111	144	0	0	2	40	0	200	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-212	708425232396	28	4201848801494	50	72084442	330	1	116	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-28	1033644387495	60	1424164542611	145	19442319	370	1	106	0	0	2	120	0	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
-88	1033644387495	60	1424164542611	145	19442319	370	1	106	0	0	2	120	0	550	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1

Scripts de calculs sur grille

```
val i1 = Prototype[Int]("i1")
val i2 = Prototype[Int]("i2")
val j = Prototype[Int]("j")

val hello = GroovyTask("hello", "j = Model.compute(i1, i2)")

hello addInput i1
hello addInput i2
hello addOutput j
hello addLib "/path/to/model.jar"

val exploration = ExplorationTask(
    "exploration",
    Factor(i1, 0 to 100 by 2 toDomain) x
    Factor(i2, new UniformIntDistribution take 10)
)
```

Scripts de calculs de surfaces de réponse

```
1 # Script for response surface calculation.
2 # We will do one linear regression per
3 # output with respect to all input except
4 # String ones.
5
6 resultAndDOEFile = read.csv("Mon Modèle Doe
7 names(resultAndDOEFile) [1]="Fauche1"
8 names(resultAndDOEFile) [2]="proba"
9 names(resultAndDOEFile) [3]="Rendement_1"
10 ...
11 names(resultAndDOEFile) [30]="Rendement_28"
12 names(resultAndDOEFile) [31]="Rendement_29"
13 names(resultAndDOEFile) [32]="Rendement_30"
14
15 inputToConsider=c(1)
16 dim1 = 2 + length(inputToConsider)
```

Sorties brutes

Résultats

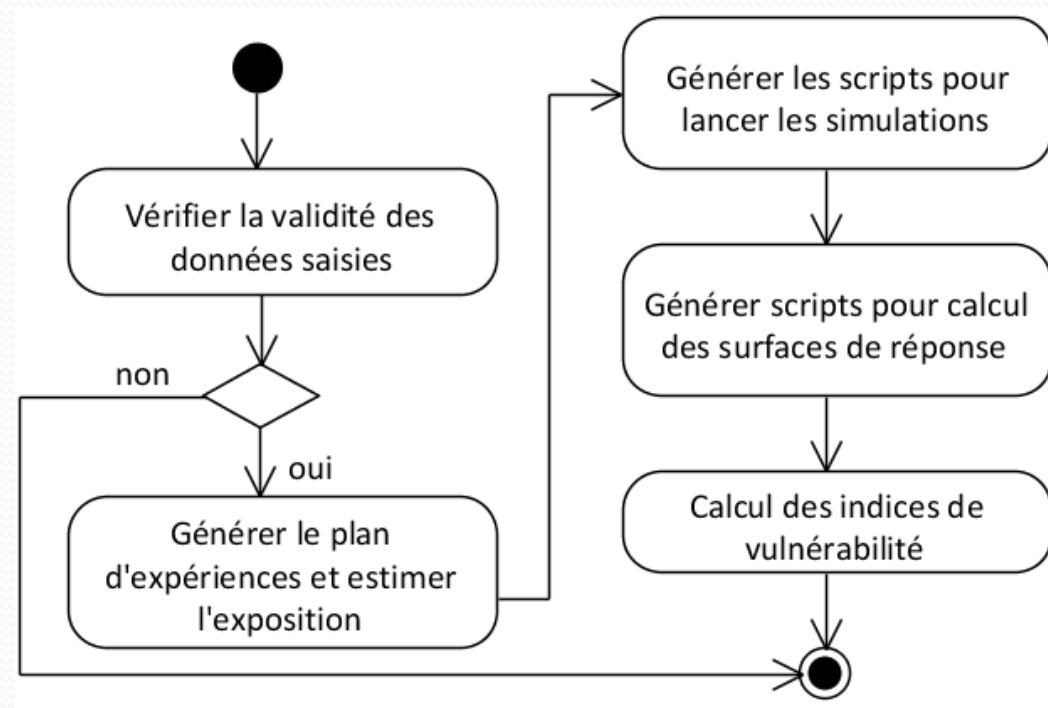
Vulnerability Assessment

Evaluation done:
Evaluation done for file MonModele_doe1.csv : 6,8368E-1
Evaluation done for file MonModele_doe2.csv : 5,9184E-1
Evaluation done for file MonModele_doe3.csv : 5,6123E-1

Implémentation sous EMF

- Instanciation puis transformation de modèles :

- Génération de l'ensemble des combinaisons d'un DOE
- Génération de Scripts: analyse statistique (R), distribution des calculs (OpenMole),...



- ...
- Classe Optimisation à implémenter

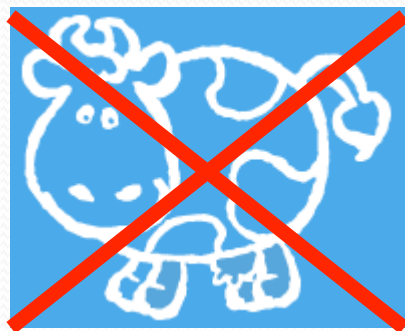
Plan

- Introduction / contexte / problématique
- Conception d'un outil générique pour l'AV
 - Méta-modèle
 - Implémentation sous EMF
- **Modèles et applications**
 - **Modèles**
 - **Instanciación**
- Conclusion et perspectives

Exemple applicatif:

Modèles pour un cas réel

- Vulnérabilité au changement climatique de la Matière Organique des Sols (MOS) prairiaux
 - Matière organique à l'équilibre à l'aide de PaSim
 - 3 périodes climatiques (Passé Proche : 1970-2006; Futur Proche : 2018-2051; Futur Lointain : 2067-2100)
 - Prairies uniquement fauchées et fertilisées
 - Conditions françaises (12 sites en France et 102 sols français)



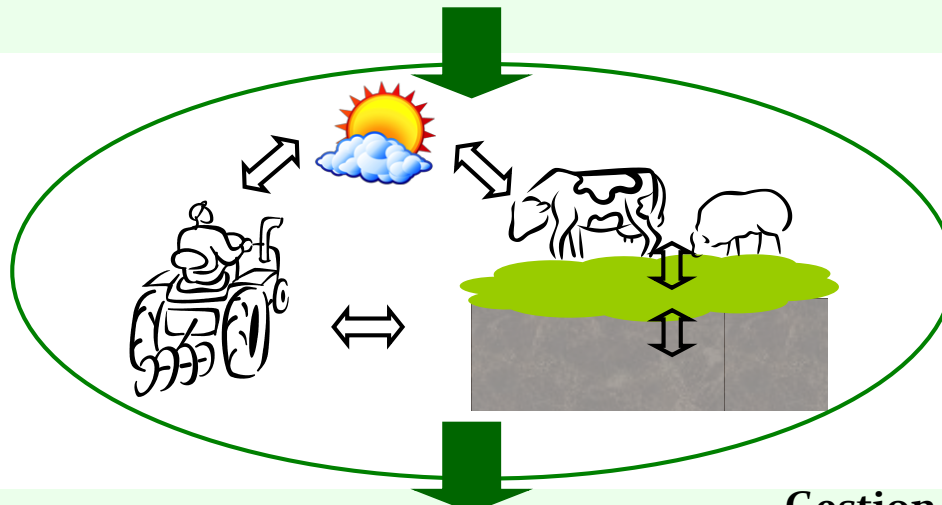
Modèle des entrées de PaSim

Méta

ENTREES

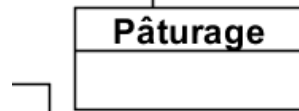
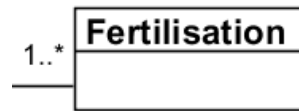
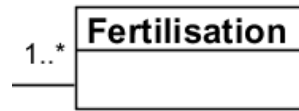
Modèle				
Climat	Sol	Végétation	Herbivores	Gestion
<ul style="list-style-type: none"> • Rayonnement • Précipitations • Température • Pression de vapeur • Vitesse du vent • CO₂ • NH₃ 	<ul style="list-style-type: none"> • Texture • Densité • Profondeur • Profil hydrique 	<ul style="list-style-type: none"> • Multi monospécifique • avec ou sans légumineuses 	<ul style="list-style-type: none"> • Type (allaitant, laitier, génisse) • Capacité d'ingestion • Poids 	<ul style="list-style-type: none"> • Fauche • Fertilisation N • Pâturage

PaSim



SORTIES

Flux	Etat	Gestion automatique
<ul style="list-style-type: none"> • GES (CO₂, N₂O, CH₄) • Flux de C, N, H₂O & énergie • ... 	<ul style="list-style-type: none"> • Production fourragère • Production laitière • Matière organique • Réserve utile etc. 	<ul style="list-style-type: none"> • Fauche • Fertilisation N • Pâturage • Irrigation • Complémentation VL



Le Plan d'expériences : choix des facteurs et des niveaux

Nom du facteur	Nombre de niveaux	Information
Année climatique 1, 2 et 3	408	Représentée par P-ET _o
[CO ₂] atmosphérique	8	320–390, 415–520, 590–695 ppm
Sol	102	Profondeur, densité, pH et texture
Nombre de fauches	4	1; 2; 3; 4
1 ^{ère} date de fauche	7	1 avril au 1 mai
2 ^{ème} date de fauche	7	16 mai au 15 juin
3 ^{ème} date de fauche	7	1 au 31 juillet
4 ^{ème} date de fauche	7	16 août au 15 septembre
Fraction de légumineuse	5	0; 10; 20; 30; 40%
Fertilisation azotée	6	0; 40; 60; 80; 100; 120 kg N ha ⁻¹ an ⁻¹
Altitude	20	50-2000 m

Plan complet : 1918464307200 \approx 2.10¹²

Le Plan d'expériences

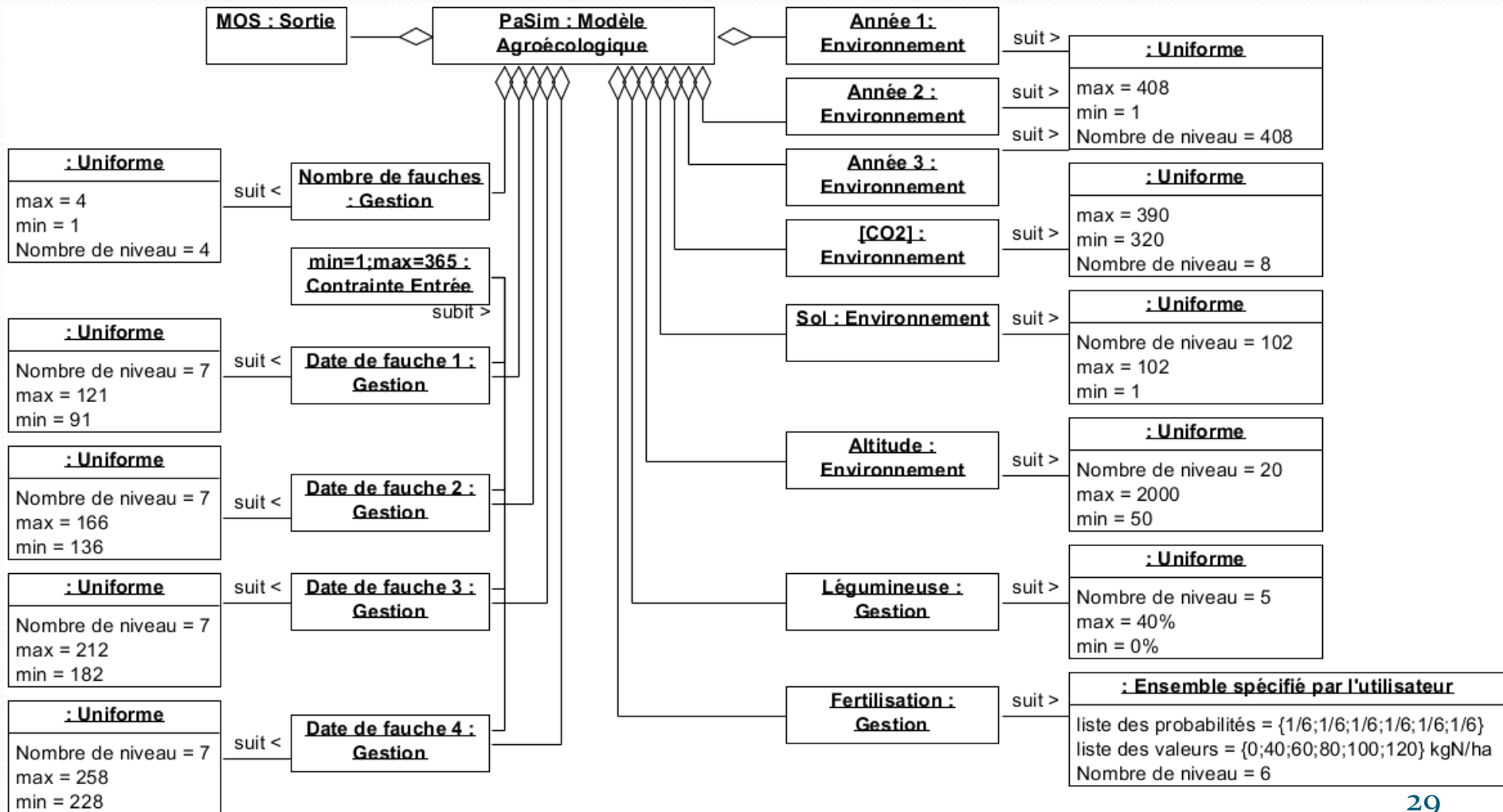
- Choix d'un *Latin Hypercube Design* (LHD)
 - Taille du plus petit commun multiplicateur (157 080)
 - Optimisé par le critère « maximin »
[Johnson et al., 1990]

⇒ combinaisons

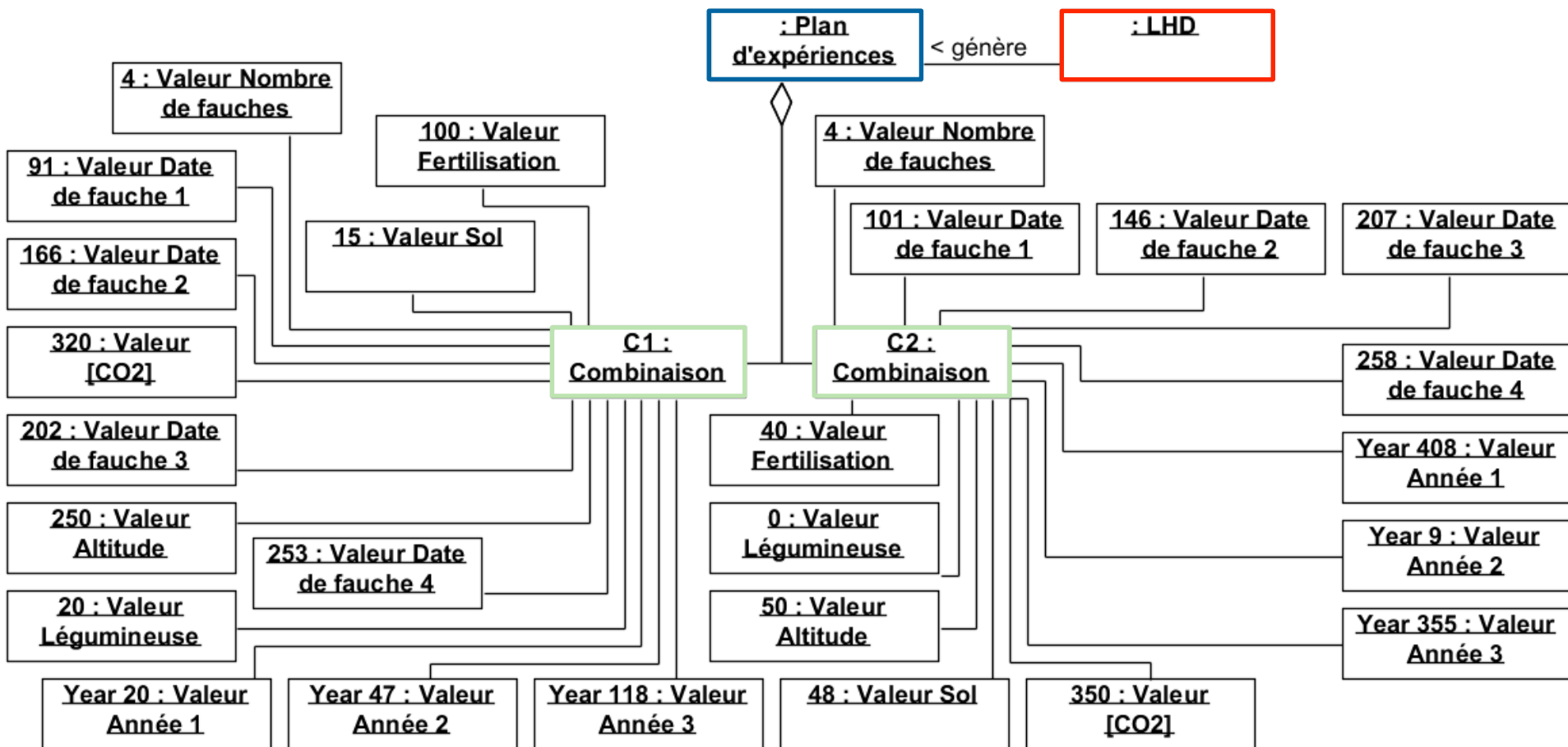
- Choix des probabilités de distribution des niveaux des facteurs (exposition) : distribution uniforme
 - Equiprobabilité des sols

Instanciación:

Représentation des E/S de PaSim



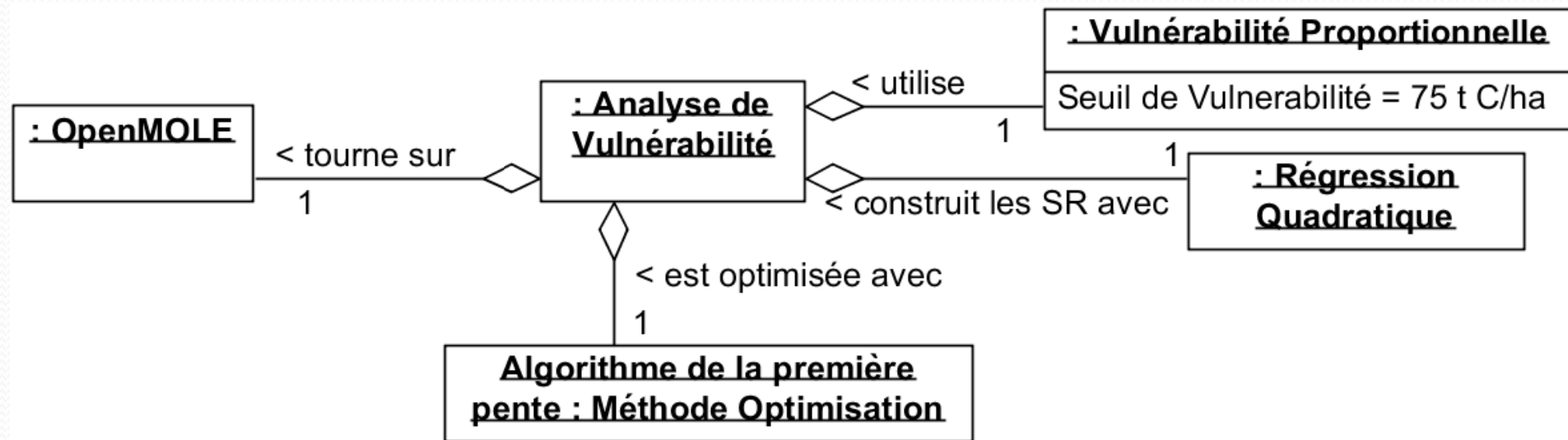
Instanciación: Représentation d'un DOE



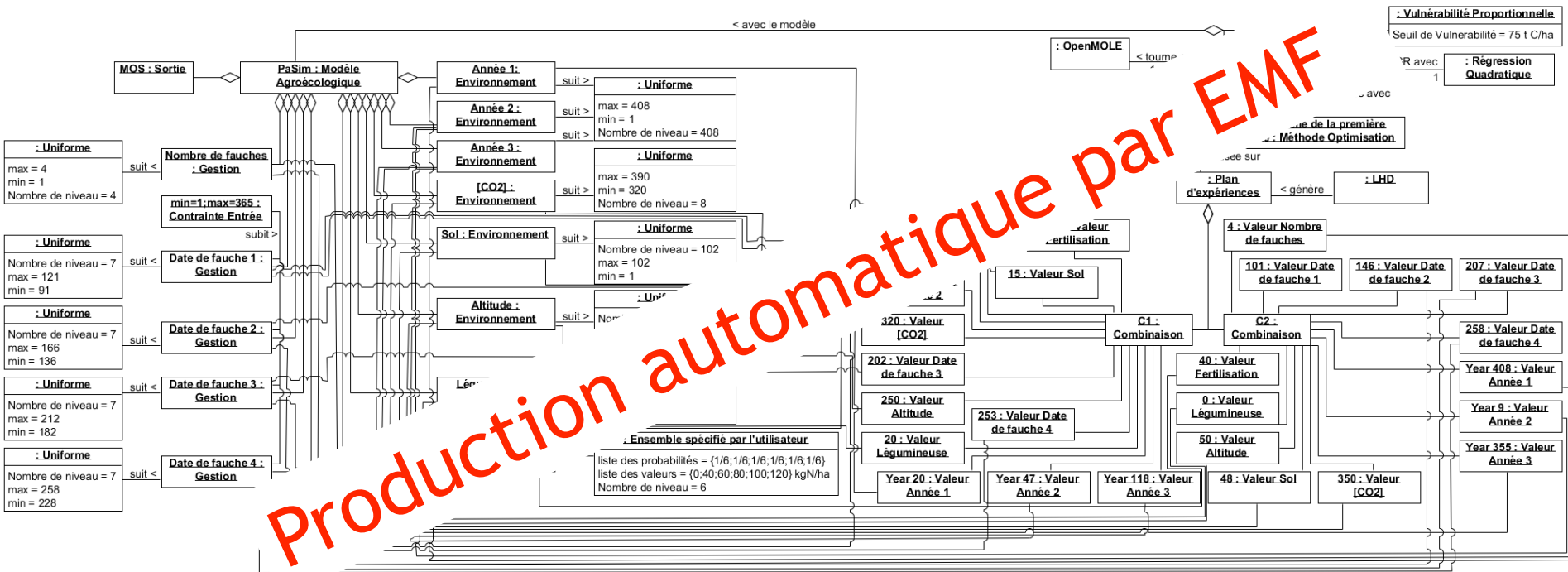
L'analyse de vulnérabilité

- Choix d'un indice et du seuil de vulnérabilité :
 - Indice de Vulnérabilité proportionnelle
 - Seuil à 75 t C/ha
- Simulations lancées à l'aide d'OpenMOLE
- Choix des surfaces de réponse
 - régression quadratique
 - Facteurs qualitatifs \Rightarrow quantitatifs
- Méthode d'optimisation
 - Algorithme de la première pente

Instanciación: Representación d'une analyse de vulnérabilité



Instanciación : Représentation complète



Plan

- Introduction / contexte / problématique
- Conception d'un outil générique pour l'AV
 - Méta-modèle
 - Implémentation sous EMF
- Modèles et applications
 - Modèles
 - Instanciation
- **Conclusion et perspectives**

Conclusion

- Conception du métamodèle et construction de l'outil logiciel à l'aide d'un environnement supportant l'IDM (Eclipse Modeling Framework):
 - Modulaire
 - Opérationnel pour tout modèle agro-écologique et tout DOE
 - Vérifié sur un exemple applicatif
- Généricité au-delà du domaine agro-écologique et du changement climatique

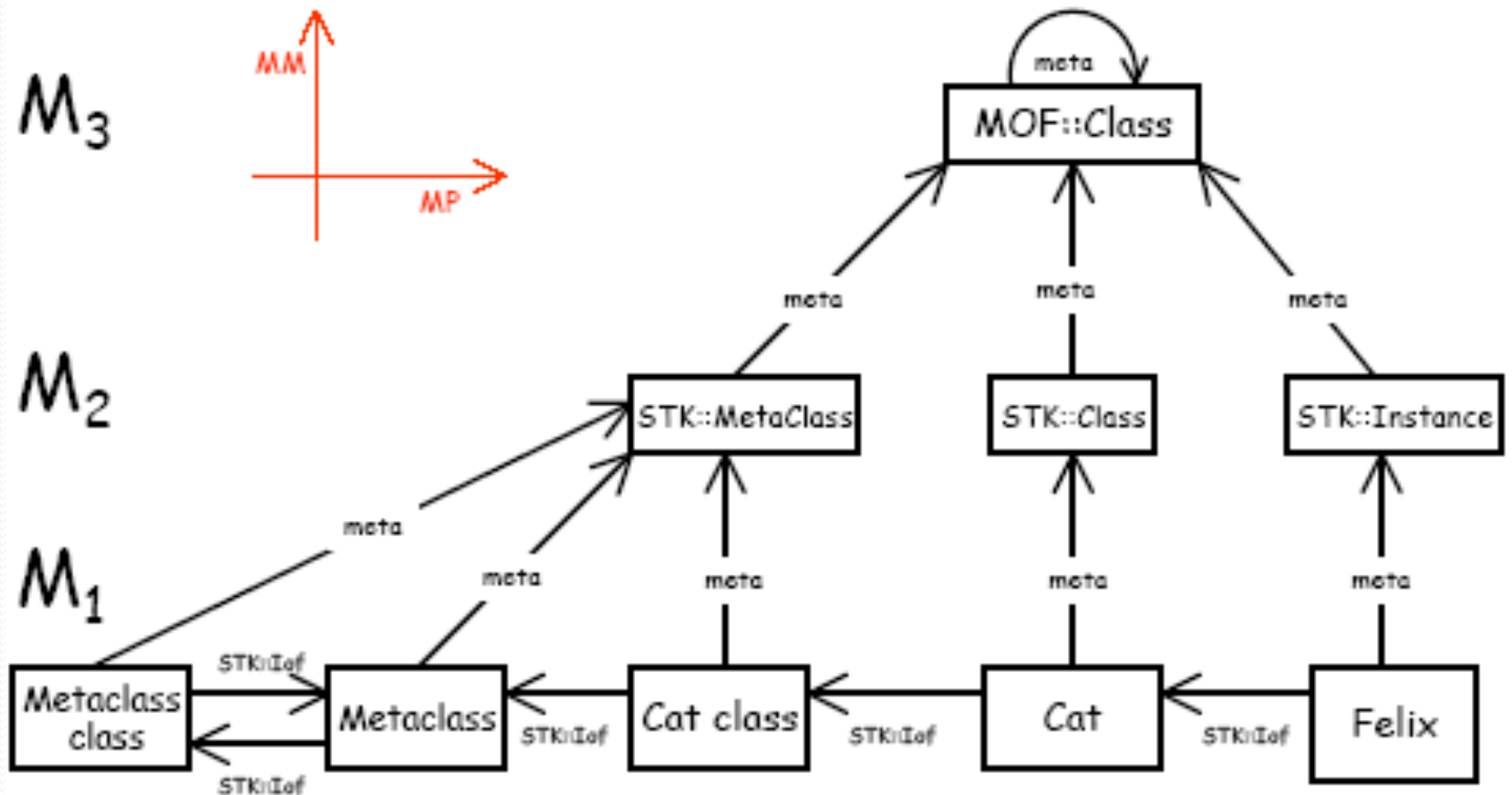
Perspectives

- Implémentation sous EMF de l'optimisation et de la phase d'analyse de vulnérabilité avec adaptation
- Evolution de l'outil sous EMF en fonction des besoins et utilisateurs futurs
- Aller vers des analyses de vulnérabilité "réellement" spatialisées



Merci de votre Attention

Méta-programmation vs. Méta-modélisation



Méta-modélisation

- « A meta-model is a model that defines the language for expressing a model » [OMG, 2002]

Layer	Description	Example
meta-metamodel	The infrastructure for a meta modeling architecture. Defines the language for specifying metamodels.	<i>MetaClass, MetaAttribute, MetaOperation</i>
Metamodel	An instance of a metametamodel. Defines the language for specifying a model.	<i>Class, Attribute, Operation, Component</i>
Model	An instance of a metamodel. Defines a language to describe an information domain.	<i>StockShare, askPrice, sellLimitOrder, StockQuoteServer</i>
user objects (user data)	An instance of a model. Defines a specific information domain.	<i><Acme_SW_Share_9 8789>, 654.56, sell_limit_order, <Stock_Quote_Svr_3 2123></i>

