

# Table des matières

<b>Avant-propos</b> . . . . .	13
<b>Remerciements</b> . . . . .	17
<b>Partie 1. Les fondements de la méthode : démarche générale et principales perspectives</b> . . . . .	19
<b>Chapitre 1. Motivations, contexte et introduction à Arcadia</b> . . . . .	21
1.1. Contexte et enjeux . . . . .	21
1.2. Un peu d'histoire : la naissance d'une méthode . . . . .	22
1.2.1. Évolution de l'ingénierie . . . . .	22
1.2.2. 2001-2006 : premières expérimentations d'une approche par les modèles . . . . .	23
1.2.3. 2006 : d'un plan de transformation de l'ingénierie à une méthode . . . . .	24
1.2.4. Premiers déploiements, nouveaux déboires . . . . .	25
1.2.5. Passage à un processus de définition agile de la méthode . . . . .	26
1.2.6. Déploiement opérationnel global et maturité . . . . .	27
1.3. Domaine d'application d'Arcadia . . . . .	28
1.3.1. L'élaboration collaborative de l'architecture, pas l'exploration. . . . .	29
1.3.2. La coopération avec les spécialités, mais pas leur cœur de métier . . . . .	29
1.3.3. La définition et la conception de l'architecture, pas le développement . . . . .	30
1.3.4. Des domaines et périmètres d'application très larges. . . . .	30
1.4. Présentation d'Arcadia . . . . .	31
<b>Chapitre 2. Principales perspectives structurant la démarche de modélisation</b> . . . . .	33
2.1. Du besoin à la solution . . . . .	33
2.1.1. Analyse opérationnelle ( <i>Operational Analysis</i> ou OA) . . . . .	33

2.1.2. Analyse du besoin système ( <i>System Need Analysis</i> ou SA) . . . . .	33
2.1.3. Architecture logique ( <i>Logical Architecture</i> ou LA) . . . . .	34
2.1.4. Architecture physique ( <i>Physical Architecture</i> ou PA) . . . . .	34
2.1.5. Stratégie de construction du produit ( <i>Building Strategy</i> ou BS). . . . .	34
2.2. Vue d'ensemble des principaux concepts. . . . .	34
2.3. Un exemple illustratif : la régulation du trafic autour d'un passage à niveau . . . . .	36
<b>Chapitre 3. Adaptation au contexte et cycle de vie du projet . . . . .</b>	<b>37</b>
3.1. Démarche itérative ou incrémentale. . . . .	38
3.2. Ordonnancement des activités . . . . .	39
3.3. Démarche descendante ou remontante . . . . .	39
3.4. Construction progressive et focalisée de l'architecture . . . . .	40
3.5. Ajustement des activités et adaptation à un domaine particulier. . . . .	41
<b>Chapitre 4. Démarche générale d'analyse fonctionnelle . . . . .</b>	<b>43</b>
4.1. La place de l'analyse fonctionnelle dans Arcadia . . . . .	43
4.2. Principes généraux d'une analyse fonctionnelle dans Arcadia. . . . .	44
4.2.1. Fonctions et échanges . . . . .	44
4.2.2. Missions, capacités, chaînes fonctionnelles et scénarios . . . . .	46
4.2.3. Modes et états . . . . .	48
4.2.4. Modèle de données . . . . .	49
4.2.5. Caractérisation non fonctionnelle et points de vue d'analyse . . . . .	49
4.2.6. En résumé.... . . . .	49
4.3. Démarches de construction d'une analyse fonctionnelle . . . . .	50
4.3.1. Approche hiérarchique descendante . . . . .	50
4.3.2. Approche remontante par regroupement fonctionnel. . . . .	55
4.3.3. Approche par construction/allocation fonctionnelle . . . . .	56
4.3.4. Approche par fonctions de services et chaînes fonctionnelles traversantes . . . . .	58
4.3.5. Approche par cas d'usages et scénarios . . . . .	61
4.3.6. L'approche pratique de l'analyse fonctionnelle . . . . .	62
4.3.7. En résumé.... . . . .	63
<b>Chapitre 5. Analyse opérationnelle . . . . .</b>	<b>65</b>
5.1. Principes . . . . .	65
5.2. Définir les missions et les capacités opérationnelles requises . . . . .	66
5.3. Conduire une analyse du besoin opérationnel . . . . .	68
5.4. En résumé.... . . . .	81
<b>Chapitre 6. Analyse du besoin système . . . . .</b>	<b>83</b>
6.1. Principes . . . . .	83
6.2. Conduire une analyse de compromis capacitaire . . . . .	84

6.3. Réaliser une analyse fonctionnelle et non fonctionnelle du besoin . . . . .	87
6.4. Formaliser et consolider l'expression du besoin système. . . . .	104
6.5. En résumé... . . . .	105

## **Chapitre 7. Définition de l'architecture de principe, ou architecture logique. . . . . 107**

7.1. Principes . . . . .	107
7.2. Définir les facteurs impactant l'architecture et les points de vue d'analyse. . . . .	108
7.3. Poser les principes de comportement du système . . . . .	110
7.4. Construire des alternatives de structuration du système par composants . . . . .	121
7.5. Sélectionner l'alternative d'architecture offrant le meilleur compromis . . . . .	134
7.6. En résumé... . . . .	134

## **Chapitre 8. Définition de l'architecture finalisée, ou architecture physique . . . . . 137**

8.1. Principes . . . . .	137
8.2. Définir les principes structurants de l'architecture et du comportement . . . . .	138
8.3. Détailler et finaliser le comportement attendu du système . . . . .	140
8.4. Construire et rationaliser une ou des architectures système possibles . . . . .	146
8.5. Sélectionner, finaliser et justifier l'architecture système retenue . . . . .	163
8.6. En résumé... . . . .	164

## **Chapitre 9. Définition des contrats de réalisation, développement, acquisition et intégration . . . . . 167**

9.1. Principes . . . . .	167
9.2. Définir l'arborescence produit . . . . .	168
9.3. Finaliser les contrats de développement des composants à réaliser . . . . .	170
9.4. Consolider la définition des composants à acquérir . . . . .	172
9.5. Définir la stratégie d'intégration vérification validation . . . . .	173
9.6. En résumé... . . . .	174

## **Partie 2. La méthode en action : exploitation des modèles d'ingénierie . . . . . 175**

### **Chapitre 10. Intégration de points de vue d'analyse et de spécialités . . . . . 177**

10.1. Justification . . . . .	177
10.2. Principes de la démarche . . . . .	179
10.3. Illustration sur quelques points de vue. . . . .	183
10.3.1. Analyse opérationnelle . . . . .	183
10.3.2. Analyse du besoin système. . . . .	184

---

10.3.3. Architecture logique. . . . .	185
10.3.4. Architecture physique. . . . .	187
10.3.5. Contrats de réalisation . . . . .	189
10.4. En résumé... . . . .	190
<b>Chapitre 11. Ingénierie des exigences et modélisation . . . . .</b>	<b>191</b>
11.1. Limites de l'ingénierie basée sur les seules exigences informelles . . . . .	191
11.2. Utilisation des modèles comme support d'expression des exigences . . . . .	193
11.3. Lien entre exigences informelles et modèle. . . . .	195
11.4. Structuration des exigences et modèle. . . . .	197
11.5. En résumé... . . . .	198
<b>Chapitre 12. Démarche d'intégration vérification validation . . . . .</b>	<b>199</b>
12.1. Définition et mise en œuvre de la stratégie de tests . . . . .	199
12.1.1. Principes . . . . .	199
12.1.2. Définition de la stratégie de tests et d'intégration . . . . .	201
12.1.3. Optimisation de l'IVV multiniveaux . . . . .	203
12.1.4. Spécification des moyens d'essais. . . . .	204
12.1.5. Optimisation du déroulement de l'intégration . . . . .	206
12.2. Vérification des exigences modèle. . . . .	208
12.2.1. Principes . . . . .	208
12.2.2. Inspection. . . . .	209
12.2.3. Analyse du modèle . . . . .	209
12.2.4. Démonstration et tests. . . . .	210
12.3. Définition et usage des scénarios et chaînes fonctionnelles en IVV . . . . .	212
12.4. Vérification des exigences informelles . . . . .	215
12.5. En résumé... . . . .	216
<b>Chapitre 13. Articulation entre niveaux d'ingénierie . . . . .</b>	<b>217</b>
13.1. Principes de la démarche de co-ingénierie . . . . .	217
13.2. Responsabilité et limites de chaque ingénierie . . . . .	219
13.3. Articulation par les exigences informelles uniquement . . . . .	220
13.4. Articulation basée sur les modèles . . . . .	222
13.4.1. Transition mono-composant . . . . .	222
13.4.2. Transition multi-composants . . . . .	226
13.4.3. Construction à base de composants réutilisables . . . . .	230
13.4.4. Transition vers les ingénieries de réalisation. . . . .	230
13.5. Articulation avec le client. . . . .	232
13.5.1. Articulation entre client maître d'ouvrage et ingénierie fournisseur . . . . .	233
13.5.2. Articulation entre client systémier et fournisseur sous-système . . . . .	234
13.6. En résumé... . . . .	235

<b>Chapitre 14. Supervision système, états et modes . . . . .</b>	<b>237</b>
14.1. Introduction à la supervision . . . . .	237
14.2. Principes et concepts. . . . .	237
14.3. Articulation entre états et modes dans les perspectives d'Arcadia . . . . .	243
14.3.1. États et modes en analyse opérationnelle . . . . .	243
14.3.2. États et modes en analyse du besoin système . . . . .	244
14.3.3. États et modes en architecture logique . . . . .	245
14.3.4. États et modes en architecture physique . . . . .	245
14.3.5. États et modes entre deux niveaux d'ingénierie . . . . .	246
14.4. Démarche de définition des états et modes et de la supervision système . . . . .	246
14.4.1. Définition des comportements attendus. . . . .	246
14.4.2. Analyse des superpositions de modes et états . . . . .	249
14.4.3. Adaptation de l'architecture aux superpositions. . . . .	252
14.5. Conception de la supervision associée aux états et modes système et composants . . . . .	253
14.5.1. Fonctions et comportement de la supervision . . . . .	253
14.5.2. Articulation entre supervision système et composants . . . . .	254
14.5.3. Analyse et vérification des conditions de reconfigurations système. . . . .	256
14.6. Utilisation du modèle pour les procédures de démarrage et arrêt . . . . .	257
14.7. En résumé... . . . .	258
 <b>Chapitre 15. Contribution à l'ingénierie ligne de produit . . . . .</b>	 <b>259</b>
15.1. Contexte et position du problème . . . . .	259
15.2. Démarche générale d'ingénierie ligne de produit . . . . .	261
15.2.1. Principes de la démarche . . . . .	261
15.2.2. Axes directeurs et activités clefs de la démarche . . . . .	262
15.2.3. Bénéfices de l'approche . . . . .	263
15.3. Construction conjointe de l'architecture et de la variabilité produit . . . . .	265
15.3.1. Analyse de marché en analyse opérationnelle . . . . .	265
15.3.2. Définition des options client en analyse du besoin système . . . . .	273
15.3.3. Conception d'une architecture logique et physique compatible de la politique produit . . . . .	286
15.3.4. Dérivation d'une configuration pour un client ou produit donné en approche soustractive . . . . .	307
15.4. Ingénierie additive ou compositionnelle par briques de base . . . . .	309
15.4.1. Ingénierie par composants réutilisables, briques de base . . . . .	309
15.4.2. Construction d'une base de composants réutilisables. . . . .	310
15.4.3. Définition d'une configuration par réutilisation de composants en approche additive . . . . .	311
15.5. Articulation des lignes de produit système et sous-système . . . . .	312
15.6. En résumé... . . . .	314

<b>Partie 3. Encyclopédie du langage et glossaire des concepts d’Arcadia</b> . . . . .	<b>315</b>
<b>Chapitre 16. Introduction au langage de modélisation Arcadia</b> . . . . .	<b>317</b>
16.1. Périmètre adressé. . . . .	317
16.2. Logique de présentation des concepts . . . . .	318
16.3. Conventions de représentation dans les figures et diagrammes . . . . .	319
<b>Chapitre 17. Concepts de descriptions fonctionnelle et opérationnelle</b> . . . . .	<b>321</b>
17.1. Concepts et relations de la description fonctionnelle . . . . .	321
17.2. Fonction ( <i>Function</i> ) . . . . .	322
17.3. Port fonctionnel ( <i>Function Port</i> ) . . . . .	323
17.4. Échange fonctionnel ( <i>Functional Exchange</i> ) et catégorie d’échange ( <i>Exchange Category</i> ) . . . . .	323
17.5. Représentation synthétique de fonctions et d’échanges fonctionnels . . . . .	324
17.6. Flot de données ( <i>Dataflow</i> ) et fonctions de contrôle du flot . . . . .	325
17.7. Mission système ( <i>System Mission</i> ) . . . . .	328
17.8. Capacité système ( <i>System Capability</i> ) . . . . .	328
17.9. Chaîne fonctionnelle ( <i>Functional Chain</i> ) . . . . .	328
17.10. Scénario de fonctions ( <i>Function Scenario</i> ) . . . . .	331
17.11. Orchestration de chaînes fonctionnelles ou de scénarios ( <i>Orches-tration</i> ) . . . . .	332
17.12. Concepts et relations fonctionnels en analyse opérationnelle . . . . .	332
17.13. Activité opérationnelle ( <i>Operational Activity</i> ) . . . . .	333
17.14. Interaction opérationnelle ( <i>Operational Interaction</i> ) . . . . .	334
17.15. Mission opérationnelle ( <i>Operational Mission</i> ) . . . . .	334
17.16. Capacité opérationnelle ( <i>Operational Capability</i> ) . . . . .	334
17.17. Processus opérationnel ( <i>Operational Process</i> ) . . . . .	335
17.18. Scénario d’activités opérationnelles ( <i>Operational Activity Scenario</i> ) . . . . .	335
<b>Chapitre 18. Concepts d’états et modes</b> . . . . .	<b>337</b>
18.1. Concepts et relations concernant les états et modes . . . . .	337
18.2. Mode ( <i>Mode</i> ) . . . . .	337
18.3. État ( <i>State</i> ) . . . . .	338
18.4. Transition ( <i>Transition</i> ) . . . . .	338
18.5. Machine de modes/d’états ( <i>Mode/State Machine</i> ) . . . . .	339
18.6. Configuration ( <i>Configuration</i> ) . . . . .	339
18.7. Situation ( <i>Situation</i> ) . . . . .	340
<b>Chapitre 19. Concepts de description structurelle</b> . . . . .	<b>341</b>
19.1. Concepts et relations de la description structurelle . . . . .	341
19.2. Système ( <i>System</i> ) . . . . .	342
19.3. Acteur ( <i>Actor</i> ) . . . . .	342

19.4. Composant ( <i>Component</i> ) . . . . .	342
19.5. Composant comportemental ( <i>Behavioral Component</i> ) . . . . .	342
19.6. Port comportemental ( <i>Behavioral Port</i> ) . . . . .	342
19.7. Échange comportemental ( <i>Behavioral Exchange</i> ) . . . . .	343
19.8. Composant logique ( <i>Logical Component</i> ) . . . . .	344
19.9. Composant physique hôte ( <i>Hosting Physical Component</i> ) . . . . .	344
19.10. Port physique ( <i>Physical Port</i> ) . . . . .	344
19.11. Lien physique ( <i>Physical Link</i> ) . . . . .	345
19.12. Chemin physique ( <i>Physical Path</i> ) . . . . .	346
19.13. Scénario d'échanges comportementaux entre composants ( <i>Behavioral Component Scenario</i> ) . . . . .	346
19.14. Concepts et relations structurels en analyse opérationnelle . . . . .	348
19.15. Entité opérationnelle et acteur ( <i>Operational Entity and Actor</i> ) . . . . .	348
19.16. Moyen de communication opérationnel ( <i>Communication Mean</i> ) . . . . .	348
19.17. Item de configuration physique et arbre produit ( <i>Configuration Item</i> ) . . . . .	349

## Chapitre 20. Liens entre descriptions fonctionnelle

### et structurelle . . . . . 351

20.1. Concepts et relations entre descriptions fonctionnelle et structurelle . . . . .	351
20.2. Réalisation des fonctions . . . . .	352
20.3. Réalisation des ports fonctionnels . . . . .	353
20.4. Implémentation des échanges fonctionnels . . . . .	353
20.5. Chemin fonctionnel ( <i>Functional Path</i> ) . . . . .	354
20.6. Scénario d'échanges fonctionnels entre composants ( <i>Functional Component Scenario</i> ) . . . . .	354
20.7. Liens entre <i>Dataflow</i> , états, modes et scénarios ou chaînes fonctionnelles . . . . .	356
20.8. Liens entre descriptions fonctionnelle et structurelle en analyse opérationnelle . . . . .	357
20.9. Simplifications de représentation . . . . .	358

## Chapitre 21. Concepts de données d'échanges, et lien

### avec fonctionnel et structurel . . . . . 361

21.1. Concepts et relations concernant les données d'échanges et leur utilisation . . . . .	361
21.2. Item d'échange ( <i>Exchange Item</i> ) . . . . .	362
21.3. Modèle de données ( <i>Data Model</i> ), classe ( <i>Class</i> ) . . . . .	362
21.4. Allocation d'éléments d'échange aux ports et échanges fonctionnels . . . . .	363
21.5. Allocation d'éléments d'échange aux échanges comportementaux . . . . .	364
21.6. Types et spécimens ( <i>Instances</i> ) de données. . . . .	364
21.7. Interface ( <i>Interface</i> ) . . . . .	364
21.8. Allocation d'interfaces aux ports de composants comportementaux . . . . .	364
21.9. Liens entre échanges, items d'échanges et interfaces . . . . .	365
21.10. Rôles d'interaction ( <i>Interaction Role</i> ) et usage des interfaces . . . . .	366
21.11. Protocoles d'interaction ( <i>Interaction Protocol</i> ) . . . . .	367

<b>Chapitre 22. Concepts complémentaires</b> . . . . .	<b>369</b>
22.1. Concepts pour l'ingénierie des lignes de produit. . . . .	369
22.1.1. Variante ( <i>Variant</i> ) . . . . .	369
22.1.2. Point de variation ( <i>Variation Point</i> ) . . . . .	369
22.1.3. Modèle de variabilité ( <i>Variability Model</i> ) . . . . .	370
22.1.4. Configuration du produit pour un projet ( <i>Project Configuration</i> ) . . . . .	370
22.2. Concepts pour la démarche d'intégration vérification validation . . . . .	370
22.2.1. Version d'intégration ( <i>Integration Version</i> ) . . . . .	370
22.2.2. Version fonctionnelle ( <i>Functional Version</i> ) . . . . .	370
22.2.3. État fonctionnel de composant ( <i>Component Functional Contents</i> ) . . . . .	371
22.2.4. Configuration d'intégration ( <i>Integration Configuration</i> ) . . . . .	371
22.2.5. Stratégie d'IVV ( <i>IVV Strategy</i> ) . . . . .	371
22.2.6. Cas de test ( <i>Test Case</i> ) . . . . .	371
22.2.7. Campagne de tests ( <i>Test Campaign</i> ) . . . . .	371
22.3. Autres concepts non développés ici . . . . .	371
<b>Chapitre 23. Construction du modèle global</b> . . . . .	<b>373</b>
23.1. Structure d'un modèle Arcadia . . . . .	373
23.2. Segmentation du modèle pour le support d'alternatives. . . . .	376
23.3. Utilisation des concepts du langage dans les perspectives . . . . .	378
23.3.1. Analyse opérationnelle . . . . .	378
23.3.2. Analyse du besoin système. . . . .	379
23.3.3. Architecture logique. . . . .	380
23.3.4. Architecture physique. . . . .	380
23.3.5. Arborescence produit . . . . .	381
23.4. Portée des différents types de liens dans le modèle . . . . .	381
23.5. Traçabilité entre éléments de modèle . . . . .	382
23.6. Éléments répliquables et répliques ( <i>Replicable Element Collection and Replica</i> ) . . . . .	383
<b>Conclusion et perspectives</b> . . . . .	<b>385</b>
<b>Annexe. Introduction à Capella, outil de modélisation de référence pour Arcadia</b> . . . . .	<b>389</b>
<b>Bibliographie</b> . . . . .	<b>395</b>
<b>Index</b> . . . . .	<b>399</b>