



Université
de Toulouse

Λ: STACK LABS



Comprendre la migration infonuagique exigences et estimation des coûts d'exploitation

Antoine Aubé

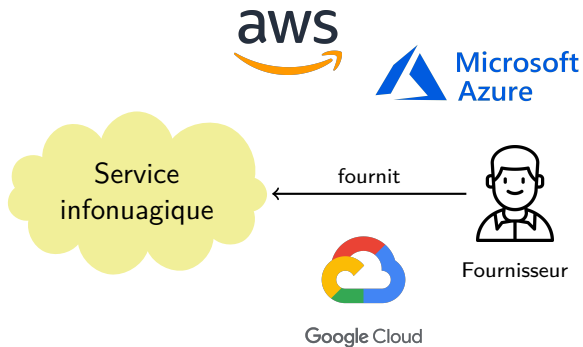
Stack Labs

Office National d'Études et de Recherches Aérospatiales (*ONERA*)

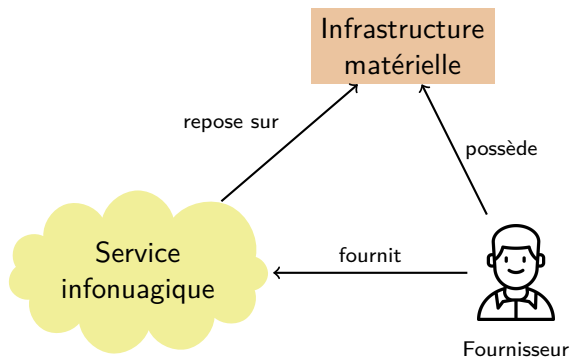
29 mai 2024

Direction de thèse : Thomas Polacsek (*ONERA*)

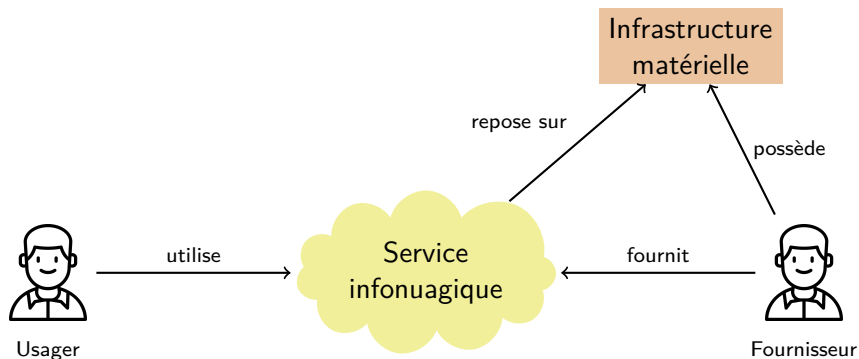
Informatique en nuage (*Cloud Computing*)



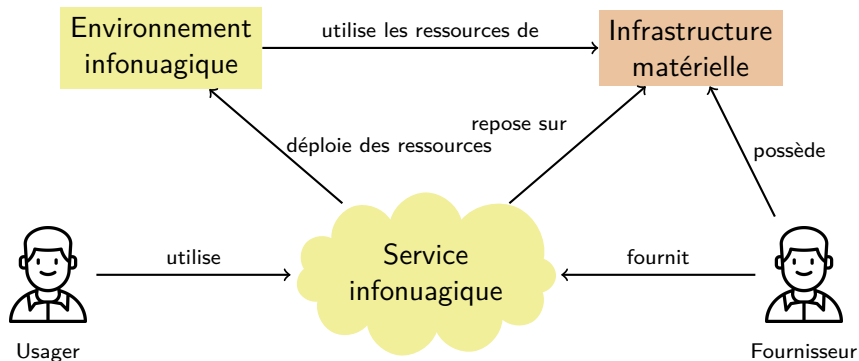
Informatique en nuage (*Cloud Computing*)



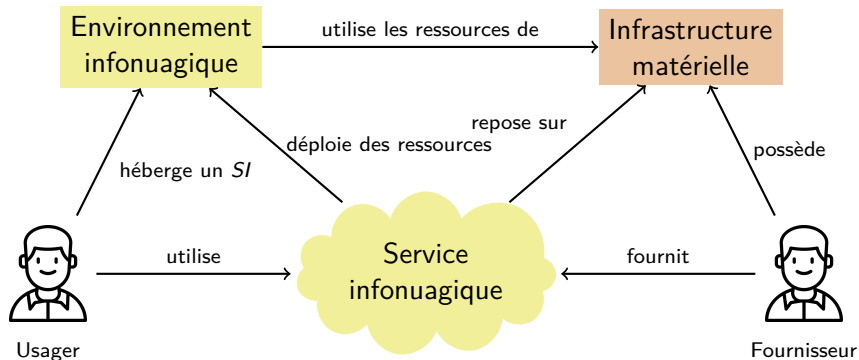
Informatique en nuage (*Cloud Computing*)



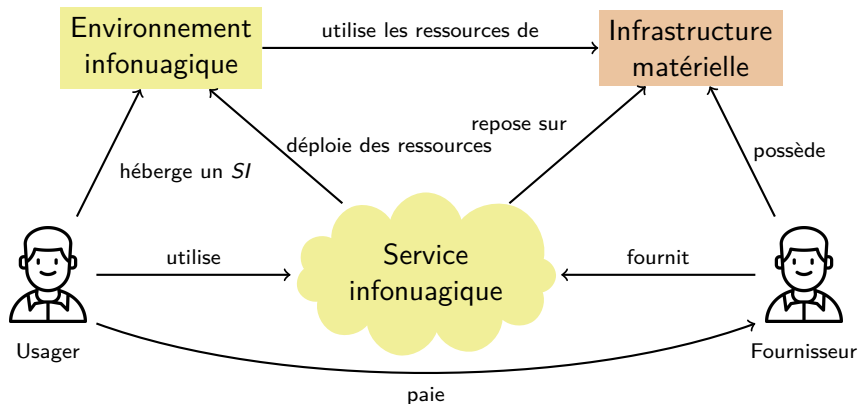
Informatique en nuage (Cloud Computing)



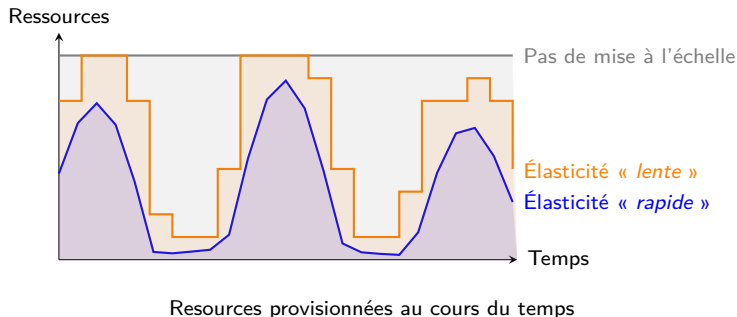
Informatique en nuage (Cloud Computing)



Informatique en nuage (Cloud Computing)



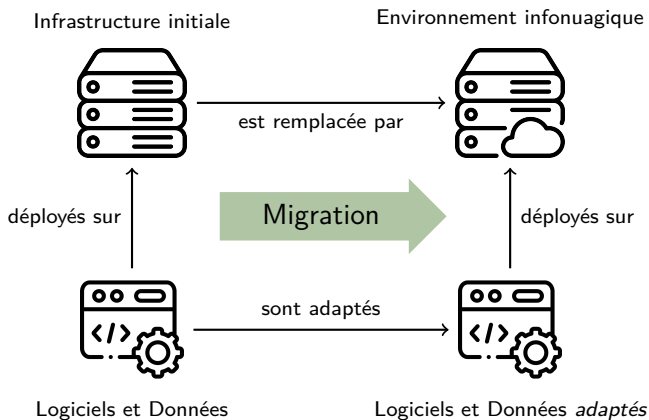
Mise à l'échelle, élasticité et coût



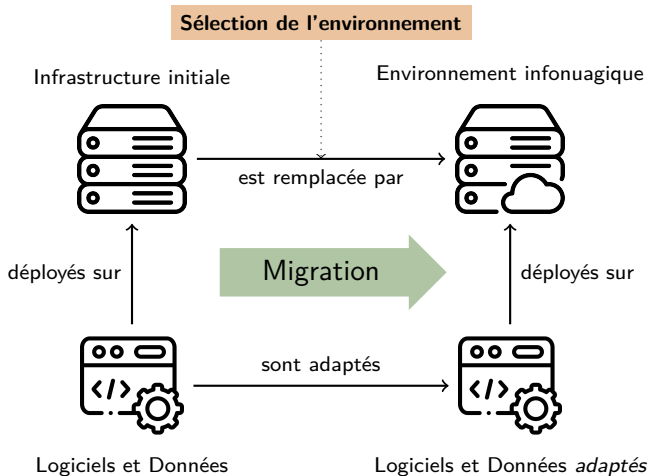
Facturation à l'usage : coût dépendant de...

- la quantité de ressources déployées
- la durée d'allocation des ressources

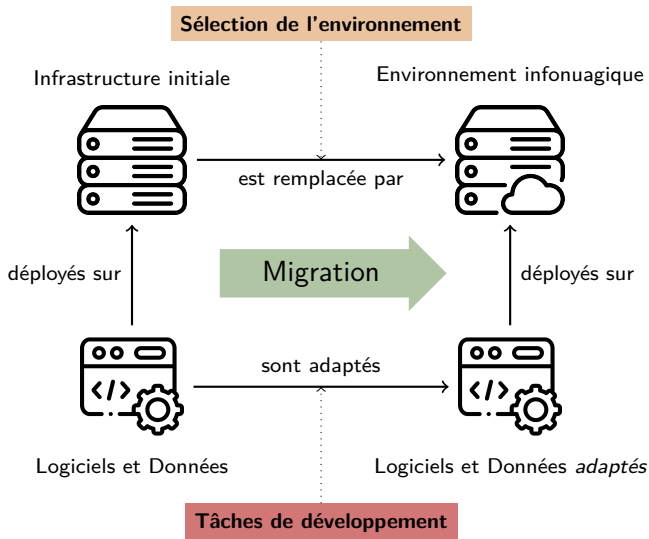
Migration infonuagique



Migration infonuagique



Migration infonuagique



Comprendre comment **sélectionner un environnement infonuagique** lors d'une migration :

- Quelles exigences l'environnement infonuagique doit-il satisfaire ?
- Comment évaluer la satisfaction de ces exigences dès les phases de conception ?
 - La difficulté de résoudre un problème croît avec l'avancée dans le développement [JM06, Gla06]
 - Intérêt porté sur les coûts d'exploitation

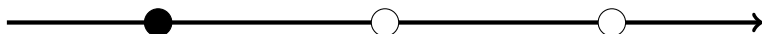
Plan de la présentation

- 1 Identification des exigences des environnements infonuagiques lors d'une migration
- 2 Évaluation des coûts d'exploitation des environnements infonuagiques à la conception
- 3 Conclusion

Plan de la présentation

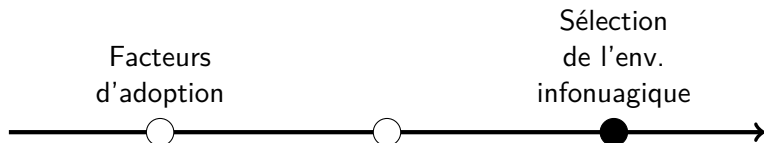
- 1 Identification des exigences des environnements infonuagiques lors d'une migration
- 2 Évaluation des coûts d'exploitation des environnements infonuagiques à la conception
- 3 Conclusion

Facteurs d'adoption



- Jamshidi et coll., *Cloud Migration research : A systematic review* (2013) [[JAP13](#)]
- Nussbaumer et Lia, *Cloud Migration for SMEs in a service-oriented approach* (2013) [[NL13](#)]
- Sharma et coll., *Predicting motivators of Cloud Computing adoption : A developing country perspective* (2016) [[SAGA16](#)]
- Changchit et Chuchuen, *Cloud Computing : An examination of factors impacting users' adoption* (2018) [[CC18](#)]
- Bremer et coll., *A systematic literature review on the suitability of cloud migration methods for small and medium-sized enterprises* (2021) [[BWFS21](#)]
- ...

Parcours d'adoption de l'informatique en nuage



- Zhang et coll., *An ontology-based system for cloud infrastructure services' discovery* (2012) [ZRH⁺12]
- Quinton, *Cloud environment selection and configuration : A software product lines-based approach* (2014) [Qui14]
- Belli et coll., *Towards a cost-optimized cloud application placement tool* (2016) [BLA16]
- Hayyolalam et Kazem, *A systematic literature review on QoS-aware service composition and selection in cloud environment* (2018) [HK18]
- Ramamurthy et coll., *Selection of cloud service providers for hosting web applications in a multi-cloud environment* (2020) [RSGL20]
- ...

Parcours d'adoption de l'informatique en nuage



• ...?

Quelles sont les **exigences** récurrentes des environnements infonuagiques lors d'une migration ?

Entretiens semi-dirigés avec des experts du domaine [SIG22]

- Guide d'entretien pour **standardiser la collecte d'informations**
- Sélection des participants
 - **Onze participants** aux profils variés (métier, domaine d'activité, organisation, ...) [McC88]
 - Suffisant car arrivé à **saturation**
- Entretiens d'environ 45 minutes en face à face, enregistrés
- **Analyse inductive** des enregistrements [RB03]

Contexte :

- Service à destination des collectivités locales
- Données devant demeurer sous le giron de l'État

Problème :

- Les principaux fournisseurs de services infonuagiques sont étasuniens : *CLOUD Act*
- **Le système d'information doit être hébergé en France par un fournisseur de services français**

Il s'agit d'une exigence sur la **souveraineté numérique**

Contexte :

- Système développé par une agence de l'état français
- Utilisé pour la surveillance des centrales nucléaires

Problème :

- Risque de changement des tarifs ou des conditions d'utilisation \implies besoin de changer d'hébergement
- **Le système d'information ne doit pas être dépendant d'un fournisseur de services en particulier**

Il s'agit d'une exigence sur l'**adhérence au fournisseur de services**

Contexte :

- Équipe de quatre personnes : un développeur et trois *Data Scientists*
- Pas de budget pour des embauches ou de la formation

Problème :

- Modernisation \implies besoin de nouvelles compétences (développement, exploitation)
- Or, ici : **le langage de programmation doit rester *Python***

Il s'agit d'une exigence liée au **besoin de nouvelles compétences**

Résultats de l'étude

- 1 Efforts de maintenance opérationnelle
- 2 Coûts de l'environnement infonuagique
- 3 Fiabilité du système
- 4 Latence
- 5 Besoin de nouvelles compétences
- 6 Souveraineté numérique
- 7 Sécurité
- 8 Adhérence au fournisseur de service
- 9 Coût de la migration
- 10 Échéance de la migration
- 11 Efficacité environnementale

- Situation initiale : absence d'étude des exigences des environnements infonuagiques lors des migrations
- Par conséquent : nous avons mené une étude qualitative auprès d'experts du domaine
- Résultat : nous avons identifié **onze familles d'exigences**

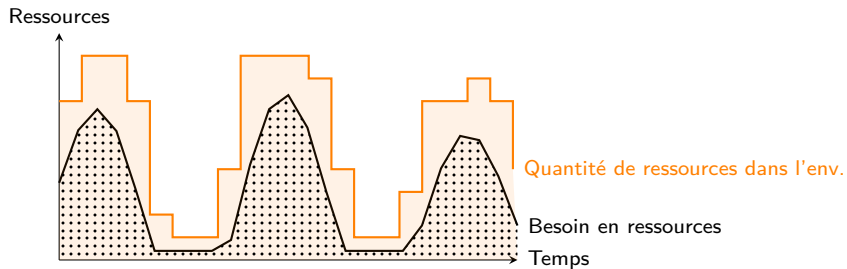
À présent : **comment évaluer la satisfaction de ces exigences dès la conception ?**

- Deux résultats omniprésents : **efforts de maintenance opérationnelle** et **coûts de l'environnement fonduagique**
- Enjeux industriels d'être en mesure d'évaluer les coûts

Plan de la présentation

- 1 Identification des exigences des environnements infonuagiques lors d'une migration
- 2 Évaluation des coûts d'exploitation des environnements infonuagiques à la conception
- 3 Conclusion

Mise à l'échelle et coûts



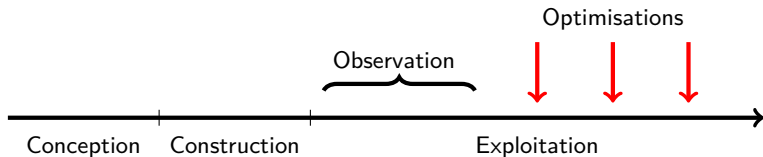
Ressources requises et provisionnées au cours du temps

Deux caractéristiques des services infonuagiques :

- Élasticité rapide, mise à l'échelle automatique
- Tarification à l'usage

Solution actuelle dans l'industrie : *FinOps*

- *FinOps* : associer le financier à l'exploitation du système
- Objectif : établir les conditions de rentabilité du système infonuagique



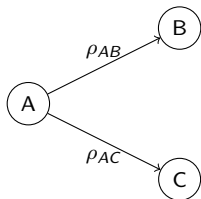
Comment évaluer les **coûts** **d'exploitation d'un environnement** **inonuagique** dès la conception ?

Revue de travaux sur l'évaluation d'environnements infonuagiques

Catégories	Adaptés ?
Simulateurs [CRRB09, BRC09, FFH12, PDCB16, VS17]	Non (perspective du fournisseur de services)
Bancs de tests [BKKL09, CGH ⁺ 09, GBG17, ZIC ⁺ 21]	Non (ne s'intéressent pas à un environnement entier)
Analytiques [MWT12, FPCM14, ZHW19, AY20]	Partiellement (données difficiles à générer)

Exemple de travaux : Aoshima et Yoshida

Modélisation en graphes dirigés acycliques



Exemple de graphe modélisé par Aoshima et Yoshida [AY20]

Avec :

- e , le nombre d'événements par intervalle de temps
- $m_X(e)$, la quantité de ressources requises par X pour traiter e
- ρ_{XY} , le ratio de ressources demandées par X à Y
- $cost_X$, fonction de coût des ressources de X
- $Cost$, le coût de traitement de e

$$Cost = cost_A(m_A(e)) + cost_B(\rho_{AB} * m_A(e)) + cost_C(\rho_{AC} * m_A(e))$$

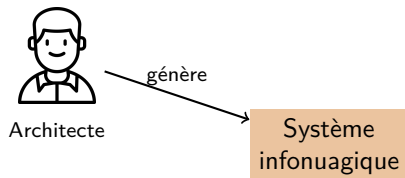
Besoin de modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique

Les travaux existants :

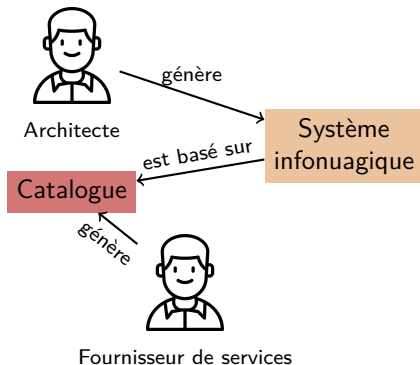
- **Simplifient la réalité** : évaluation peu fidèle, applicabilité limitée
- Demandent des **données difficiles à générer**

D'où le besoin de **comprendre** et de **modéliser** les concepts nécessaires et suffisants pour évaluer les coûts d'exploitation

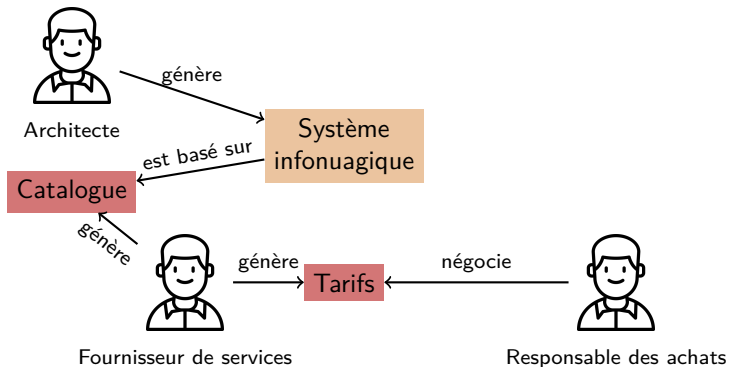
Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique



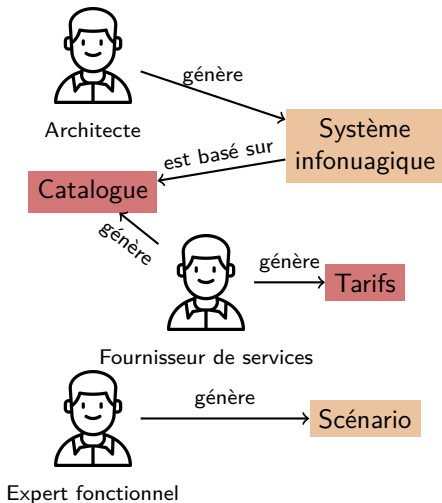
Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique



Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique



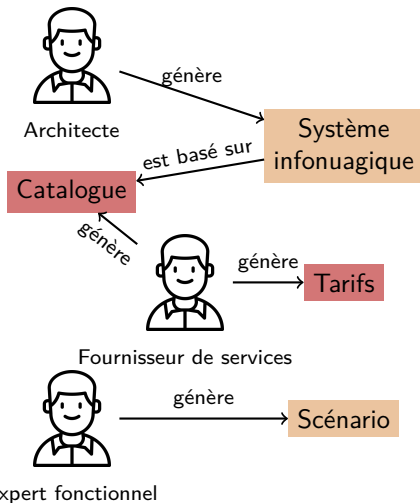
Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique



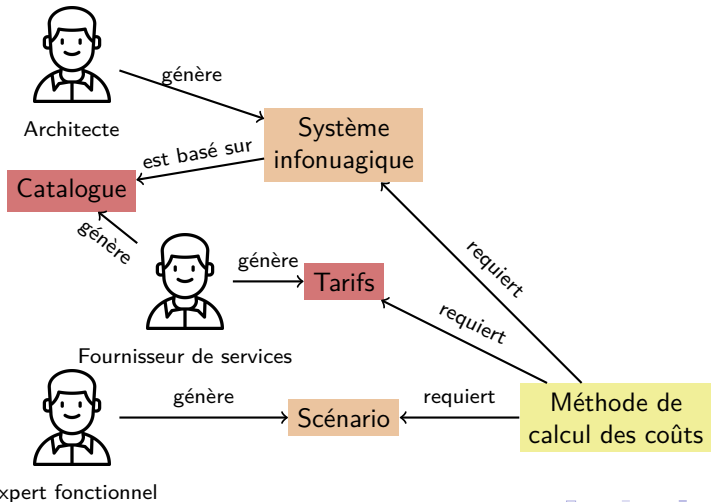
Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique

- Catalogue, tarifs, description du système infonuagique, scénario : ce sont les **données d'entrée** d'une méthode d'évaluation des coûts
- Modélisation avec UML
 - Basée sur la documentation de plusieurs fournisseurs de services
 - Agnostique du fournisseur de services
 - Environ 160 classes UML

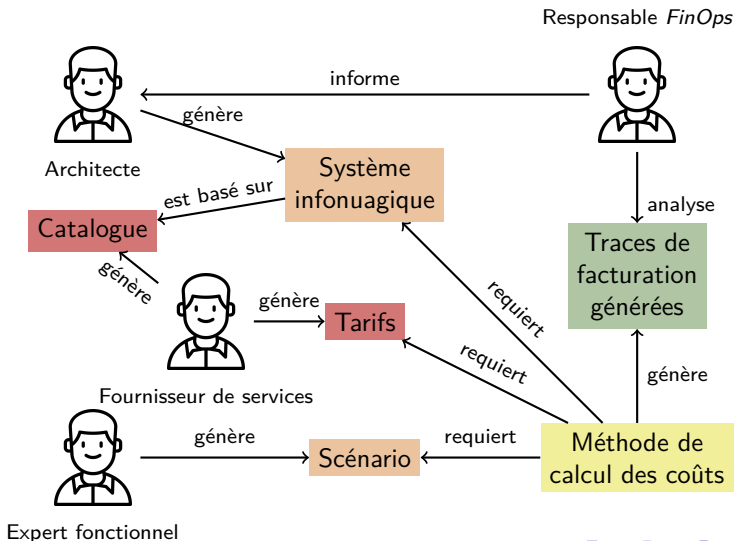
Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique



Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique



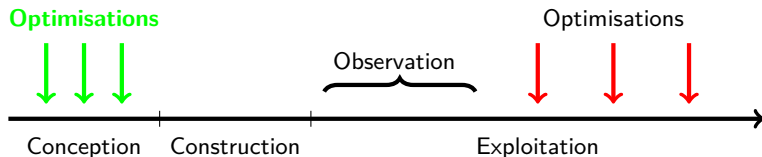
Modéliser l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique



- Simulateur à événements discrets [Fis01]
- Implémentation en un logiciel : *Ymir*
 - Logiciel extensible avec interfaces *CLI* et *API Web*
 - Licence libre *LGPL*
 - Disponible en ligne : <https://gitlab.com/stack-labs/oss/ymir>

- Utilisation dans le cadre du projet *DOMINO-X* du *CNES*
- Implémentation des modèles pour...
 - *Google Cloud Platform* (tenu à jour automatiquement via *API*)
 - *Scaleway*
 - *Orange Business Services*
- Vérification des montants évalués : évaluation des coûts d'un environnement infonuagique existant
- Essai d'alternatives pour un hébergement moins coûteux

- **Modélisation de l'évaluation des coûts d'un environnement infonuagique et implémentation logicielle** avec un simulateur à événements discrets
- Transformation du *FinOps* : amener le responsable *FinOps* à intervenir dès les cycles de développement (*FinDev*?)



Plan de la présentation

- 1 Identification des exigences des environnements infonuagiques lors d'une migration
- 2 Évaluation des coûts d'exploitation des environnements infonuagiques à la conception
- 3 Conclusion

- Sélection de l'environnement infonuagique importante pour la satisfaction des exigences
- Problème industriel : défaut de méthode pour une sélection de l'environnement infonuagique dirigée par les exigences
- Littérature scientifique :
 - Pas de travaux sur les exigences
 - Les travaux sur l'évaluation des coûts d'exploitation ne tiennent pas compte de la réalité industrielle

- Identification des exigences qui doivent être prises en compte lors de la sélection de l'environnement infonuagique lors d'une migration
- Modélisation de l'évaluation des coûts d'exploitation d'un environnement infonuagique en cours de conception
- Implémentation du modèle d'évaluation des coûts avec la simulation à événements discrets : *Ymir*

- Stratégie de migration : stéréotype de migration infonuagique (activités de la migration, décisions prises pour l'environnement infonuagique, ...)
- Il manque une méthode permettant de décider quelle stratégie employer [ZZ14]
- **Enjeu** : orienter au plus tôt les informaticiens quant à la démarche à suivre, donc accélérer la migration
- **Perspective** : créer une méthode reposant sur les résultats de l'enquête qualitative (exigences et conséquences des exigences dans la migration)

- Il manque une méthode permettant d'établir des compromis entre les exigences pour l'informatique en nuage
- **Enjeu** : sélectionner l'environnement le plus proche possible des attentes de l'organisation
- **Perspective** : créer une méthode reposant sur des évaluations de la satisfaction des exigences pour générer des concepts d'environnements infonuagiques satisfaisant au mieux les exigences exprimées par l'organisation
- Au préalable : étudier comment évaluer la satisfaction des dix autres exigences que nous avons identifiées

Avez-vous des **questions** ?

- Contact : courriel@arjca.fr
- Diapositives :
<https://arjca.fr/diapositives/2024-05-29-soutenance.pdf>

Crédits pour les images :

- Icônes de l'Université de Toulouse et de Stack Labs par les organisations éponymes
- Icônes de *AWS*, *Azure* et *GCP* par, respectivement, Amazon, Microsoft et Google
- Illustrations de *Freepik*, *Payungkead* et *Pixel Perfect* sur *flaticon.com*



Tomohisa Aoshima and Kenichi Yoshida, *Pre-design stage cost estimation for cloud services*, 44th IEEE Annual Computers, Software, and Applications Conference, COMPSAC 2020, IEEE, 2020, pp. 61–66.



Carsten Binnig, Donald Kossmann, Tim Kraska, and Simon Loesing, *How is the weather tomorrow? : towards a benchmark for the cloud*, Proceedings of the 2nd International Workshop on Testing Database Systems, DBTest 2009, Providence, Rhode Island, USA, June 29, 2009 (Benoît Dageville and Carsten Binnig, eds.), ACM, 2009.



Olivier Belli, Charles Loomis, and Nabil Abdennadher, *Towards a cost-optimized cloud application placement tool*, 2016 IEEE International Conference on Cloud Computing Technology and Science, CloudCom 2016, IEEE Computer Society, 2016, pp. 43–50.



Rajkumar Buyya, Rajiv Ranjan, and Rodrigo N. Calheiros, *Modeling and simulation of scalable cloud computing environments and the cloudsim toolkit : Challenges and opportunities*, 2009 International Conference on High Performance Computing & Simulation, HPCS 2009, Leipzig, Germany, June 21-24, 2009 (Waleed W. Smari and John P. McIntire, eds.), IEEE, 2009, pp. 1–11.



Martin Bremer, Tim Walter, Nikita Fjodorovs, and Katharina Schmid, *A systematic literature review on the suitability of cloud migration methods for small and medium-sized enterprises*, ESSN : 2701-6277 (2021).

Bibliographie II



Chuleeporn Changchit and Chat Chuchuen, *Cloud computing : An examination of factors impacting users' adoption*, J. Comput. Inf. Syst. **58** (2018), no. 1, 1–9.



Roy H. Campbell, Indranil Gupta, Michael T. Heath, Steven Y. Ko, Michael Kozuch, Marcel Kunze, Thomas T. Kwan, Kevin Lai, Hing Yan Lee, Martha Lyons, Dejan S. Milojevic, David R. O'Hallaron, and Yeng Chai Soh, *Open cirrus™ cloud computing testbed : Federated data centers for open source systems and services research*, Workshop on Hot Topics in Cloud Computing, HotCloud'09, San Diego, CA, USA, June 15, 2009 (Sambit Sahu and Prashant J. Shenoy, eds.), USENIX Association, 2009.



Rodrigo N. Calheiros, Rajiv Ranjan, César A. F. De Rose, and Rajkumar Buyya, *Cloudsim : A novel framework for modeling and simulation of cloud computing infrastructures and services*, CoRR [abs/0903.2525](https://arxiv.org/abs/0903.2525) (2009).



Florian Fittkau, Sören Frey, and Wilhelm Hasselbring, *Cloud user-centric enhancements of the simulator cloudsim to improve cloud deployment option analysis*, Service-Oriented and Cloud Computing - First European Conference, ESOC 2012, Bertinoro, Italy, September 19-21, 2012. Proceedings (Flavio De Paoli, Ernesto Pimentel, and Gianluigi Zavattaro, eds.), Lecture Notes in Computer Science, vol. 7592, Springer, 2012, pp. 200–207.



George S Fishman, *Discrete-event simulation : modeling, programming, and analysis*, vol. 537, Springer, 2001.

Bibliographie III



Luca Ferretti, Fabio Pierazzi, Michele Colajanni, and Mirco Marchetti, *Performance and cost evaluation of an adaptive encryption architecture for cloud databases*, IEEE Trans. Cloud Comput. **2** (2014), no. 2, 143–155.



David Gesvindr, Barbora Buhnova, and Ondrej Gasior, *Quality evaluation of paas cloud application design using generated prototypes*, 2017 IEEE International Conference on Software Architecture, ICSA 2017, Gothenburg, Sweden, April 3-7, 2017, IEEE Computer Society, 2017, pp. 31–40.



Robert L. Glass, *The standish report : does it really describe a software crisis ?*, Commun. ACM **49** (2006), no. 8, 15–16.



Vahideh Hayyolalam and Ali Asghar Pourhaji Kazem, *A systematic literature review on qos-aware service composition and selection in cloud environment*, J. Netw. Comput. Appl. **110** (2018), 52–74.



Pooyan Jamshidi, Aakash Ahmad, and Claus Pahl, *Cloud migration research : A systematic review*, IEEE Trans. Cloud Comput. **1** (2013), no. 2, 142–157.



Magne Jørgensen and Kjetil Moløkken-Østvold, *How large are software cost overruns ? A review of the 1994 CHAOS report*, Inf. Softw. Technol. **48** (2006), no. 4, 297–301.



G. McCracken, *The long interview*, Qualitative Research Methods, SAGE Publications, 1988.

Bibliographie IV



Benedikt Martens, Marc Walterbusch, and Frank Teuteberg, *Costing of cloud computing services : A total cost of ownership approach*, 45th Hawaii International International Conference on Systems Science, Proceedings, IEEE Computer Society, 2012, pp. 1563–1572.



Nicolas Nussbaumer and Xiaodong Liu, *Cloud migration for smes in a service oriented approach*, IEEE 37th Annual Computer Software and Applications Conference, Workshops, IEEE Computer Society, 2013, pp. 457–462.



Sareh Fotuhi Piraghaj, Amir Vahid Dastjerdi, Rodrigo N. Calheiros, and Rajkumar Buyya, *ContainerCloudSim : An environment for modeling and simulation of containers in cloud data centers*, *Software : Practice and Experience* **47** (2016), no. 4, 505–521.



Clément Quinton, *Cloud environment selection and configuration : A software product lines-based approach*, Ph.D. thesis, Lille University of Science and Technology, France, 2014.



Gery W Ryan and H Russell Bernard, *Techniques to identify themes*, *Field methods* **15** (2003), no. 1, 85–109.



Arun Ramamurthy, Saket Saurabh, Mangesh S. Gharote, and Sachin Lodha, *Selection of cloud service providers for hosting web applications in a multi-cloud environment*, 2020 IEEE International Conference on Services Computing, SCC 2020, Beijing, China, November 7-11, 2020, IEEE, 2020, pp. 202–209.



Sujeet Kumar Sharma, Ali H. Al-Badi, Srikrishna Madhumohan Govindaluri, and Mohammed H. Al-Kharusi, *Predicting motivators of cloud computing adoption : A developing country perspective*, Comput. Hum. Behav. **62** (2016), 61–69.



ACM SIGSOFT, *Qualitative surveys (interview studies)*, <https://github.com/acmsigsoft/EmpiricalStandards/blob/master/docs/QualitativeSurveys.md>, 2022, [Online ; accessed 07-July-2022].



T. Vondra and Jan Sedivý, *Cloud autoscaling simulation based on queueing network model*, Simul. Model. Pract. Theory **70** (2017), 83–100.



Qian Zhang, Armin Haller, and Qing Wang, *Cocoon : Cloud computing ontology for iaas price and performance comparison*, The Semantic Web - ISWC 2019 - 18th International Semantic Web Conference, Proceedings, Part II (Chiara Ghidini, Olaf Hartig, Maria Maleshkova, Vojtech Svátek, Isabel F. Cruz, Aidan Hogan, Jie Song, Maxime Lefrançois, and Fabien Gandon, eds.), Lecture Notes in Computer Science, vol. 11779, Springer, 2019, pp. 325–341.



Michael Zink, David E. Irwin, Emmanuel Cecchet, Hakan Saplakoglu, Orran Krieger, Martin C. Herbordt, Michael Daitzman, Peter Desnoyers, Miriam Leeser, and Suranga Handagala, *The open cloud testbed (OCT) : A platform for research into new cloud technologies*, 10th IEEE International Conference on Cloud Networking, CloudNet 2021, Cookeville, TN, USA, November 8-10, 2021, IEEE, 2021, pp. 140–147.



Miranda Zhang, Rajiv Ranjan, Armin Haller, Dimitrios Georgakopoulos, Michael Menzel, and Surya Nepal, *An ontology-based system for cloud infrastructure services' discovery*, 8th International Conference on Collaborative Computing : Networking, Applications and Worksharing, CollaborateCom 2012 (Calton Pu, James Joshi, and Surya Nepal, eds.), ICST / IEEE, 2012, pp. 524–530.



Jun-Feng Zhao and Jian-Tao Zhou, *Strategies and methods for cloud migration*, Int. J. Autom. Comput. **11** (2014), no. 2, 143–152.