

# ETAT DE L'ART DU CLUSTERING SUR RASPBERRY PI

Auteurs : Christophe PRUGNAUD et Florian FORESTIER – BE-YS Group  
EFCSE member

11 février 2020

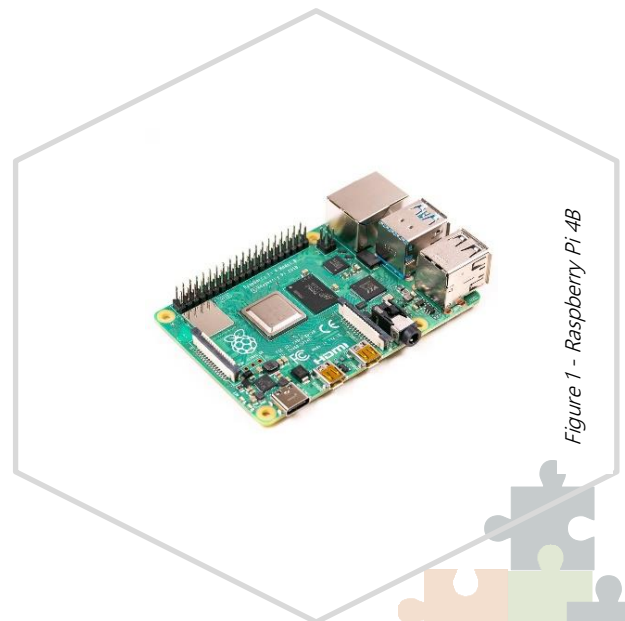
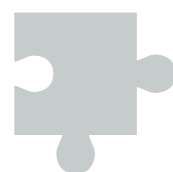


Figure 1 - Raspberry Pi 4B



## A propos des auteurs

---

### *Christophe PRUGNAUD*

*Responsable de l'Architecture d'Entreprise au sein du groupe be-ys depuis 2016, Christophe PRUGNAUD, diplômé du CNAM, participe activement à la dynamique technologique du bassin Clermontois, notamment par son implication au LavaJUG, association permettant le partage d'expérience autour des nouvelles technologies du monde de l'informatique ; mais également dans l'éducation, en tant que membre du conseil de gouvernance de l'Institut Informatique d'Auvergne - ISIMA.*

### *Florian FORESTIER*

*Alternant à l'Architecture d'Entreprise du groupe be-ys, Florian FORESTIER est un étudiant en Master Informatique à l'Institut Informatique d'Auvergne – ISIMA, et est passionné d'informatique depuis son plus jeune âge. Développeur à ses heures perdues sur le projet FallenGalaxy, c'est également un orateur et participant fréquent au sein des évènements IT organisés à Clermont-Ferrand.*

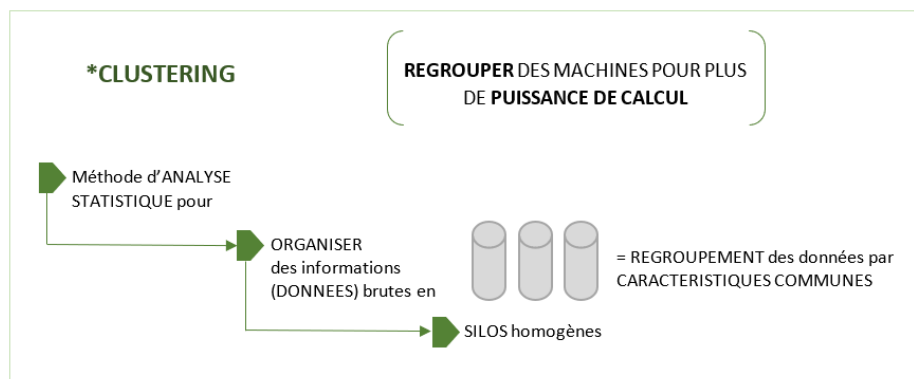
---

## Abstract

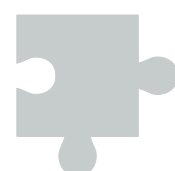
Largement disponibles et peu coûteux, les Raspberry Pi se sont imposés ces dernières années comme pouvant être une alternative sérieuse aux machines conventionnelles, notamment dans le domaine de l'informatique embarquée, ou de faible puissance<sup>1</sup> (clients-légers, ordinateurs bureautiques, etc.). Ses spécifications techniques, notamment sa faible taille, équivalente à celle d'une carte bancaire, et sa modularité, en ont fait un allié des développeurs et des passionnés.

Grâce à l'augmentation de la puissance de calcul avec les dernières révisions de ces cartes, les Raspberry ont désormais un niveau satisfaisant pour la plupart des usages du quotidien.

La question que nous traitons dans ce dossier est celle de la possibilité d'utilisation de ces cartes en CLUSTERING\*.



<sup>1</sup> RICHARDSON, Matt et WALLACE, Shawn. *Getting started with raspberry Pi*. "O'Reilly Media, Inc.", 2012.



## Introduction

### Généralités techniques

Le clustering, ou le concept de ferme de calcul, est un ensemble de technologies basé sur le partage (par parallélisation ou répartition de la charge) entre plusieurs ordinateurs, nommés nœuds. Née dans le début des années 1980, cette technologie a été mise au point dans le but initial d'éviter d'acheter des supercalculateurs hors de prix, mais surtout pour répondre à des besoins de calculs hautes performances et absorber de fortes charges transactionnelles <sup>2</sup>. Avec l'explosion de la demande en termes de puissance de calcul du début des années 2000, le clustering est devenu un système de calcul distribué très répandu, utilisé notamment pour des sites web et des services ayant des impératifs de haute disponibilité <sup>3</sup>.

Au milieu des années 2010 est apparue la mouvance *Serverless*<sup>4</sup>, en réponse aux problématiques croissantes liées à l'informatique en entreprise : gagner en productivité et en souplesse. Derrière ce nom se cache un changement fondamental dans l'approche des systèmes d'informations.

Autrefois organisés en applications monolithiques hébergées sur des serveurs dédiés et réservés à cette fin, la mouvance Serverless tire parti des dernières innovations informatiques notamment en termes de conteneurisation. Les applications ne sont plus déployées sur un serveur physique, mais sur un hyperviseur, qui va s'occuper de manière transparente pour l'utilisateur de la mise à disposition des ressources<sup>5</sup>.

Le *Function as a Service* (FaaS) est la dernière étape de cette évolution<sup>6</sup>. En FaaS, les applications au sens classique du terme n'existent plus : il s'agit désormais de fonctions, et chaque fonction effectue une seule tâche, précise et unique, avant d'être arrêtée. Toutes les fonctions sont déployées sur un hyperviseur, qui s'occupe d'exécuter la fonction uniquement lorsque celle-ci est appelée. Ainsi, le programme ne consomme des ressources qu'en fonction de ce qu'il fait réellement. Ce fonctionnement permet également un meilleur passage à l'échelle (*scaling*), puisque seules les fonctions les plus appelées seront mise à l'échelle<sup>5,6</sup>.

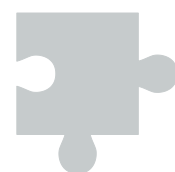
<sup>2</sup> SADASHIV, Naidila et KUMAR, SM Dilip. Cluster, grid and cloud computing: A detailed comparison. In: *2011 6th International Conference on Computer Science & Education (ICCSE)*. IEEE, 2011. p. 477-482.

<sup>3</sup> GADORIA, Mamta, SINGH, Sarvesh, et GANGWAR, Pratibha. The Expedient Approach for High Availability in Web Server Services for HPC Attained by Clustering using Virtualization. *International Journal of Computer Applications*, 2014, vol. 95, no 20, pp. 21-24.

<sup>4</sup> JONAS, Eric, SCHLEIER-SMITH, Johann, SREEKANTI, Vikram, et al. Cloud programming simplified: a Berkeley view on serverless computing. *arXiv preprint arXiv:1902.03383*, 2019.

<sup>5</sup> IVAN, Cosmina, VASILE, Radu, et DADARLAT, Vasile. Serverless Computing: An Investigation of Deployment Environments for Web APIs. *Computers*, 2019, vol. 8, no 2, p. 50.

<sup>6</sup> VAN EYK, Erwin, IOSUP, Alexandru, SEIF, Simon, et al. The SPEC cloud group's research vision on FaaS and serverless architectures. In: *Proceedings of the 2nd International Workshop on Serverless Computing*. ACM, 2017. p. 1-4.



Dans le même temps, en raison des enjeux écologiques auxquels le monde fait actuellement face, est apparu le concept de Green IT<sup>7</sup>. L'objectif est de faire preuve d'une certaine humilité technologique ; notamment en appliquant de bonnes pratiques de conception, comme utiliser du matériel efficient du point de vue énergétique, éviter le surdimensionnement des infrastructures, concevoir du matériel fiable, robuste et facilement maintenable ; mais également en concevant des programmes optimisés, peu gourmands en calcul, et pouvant passer à l'échelle.

## Introduction – Raspberry Pi

Le Raspberry Pi est une carte imprimée créée par la Raspberry Foundation, dont la première publication remonte au début de l'année 2012<sup>8</sup>. De la taille d'une carte bancaire, le Raspberry Pi a été créé dans le but d'être peu onéreux et facile à prendre en main. L'objectif de la fondation était de proposer un micro-ordinateur pour permettre au plus grand nombre de personnes de s'initier à l'informatique.

Le concept a été rapidement adopté par la communauté, notamment en raison de la présence de nombreux GPIO<sup>9</sup>, permettant de larges applications dans le domaine de la domotique. Par ailleurs, son format de la taille d'une carte bancaire lui permet d'être utilisé dans un périmètre environnemental et circonstanciel beaucoup plus vaste que les machines traditionnelles.

Si le premier modèle des Raspberry disposait d'une puissance très modeste (256Mo de RAM, processeur à 700MHz), leurs performances se sont très sensiblement améliorées au cours des années<sup>1</sup> pour répondre aux besoins grandissants de la communauté. Le Raspberry Pi 4 dispose ainsi d'un processeur quadruple cœur de 1,5GHz et de 4Go de RAM, le rendant utilisable en lecteur multimédia, mais également en tant que mini-serveur. Dès lors, en raison de son faible coût, de ses performances honorables et du peu de place nécessaire pour mener de tels projets, il était évident que des projets de clustering sur Raspberry naîtraient<sup>10</sup>.

	Raspberry Pi 1B	Raspberry Pi 2B	Raspberry Pi 3B	Raspberry Pi 4B
<b>Date de sortie</b>	2012	2015	2016	2019
<b>CPU</b>	1 x 700 MHz	4 x 900 MHz	4 x 12 GHz	1 x 1.5 GHz
<b>RAM</b>	512 Mo	1 Go	1 Go	1, 2 ou 4 Go
<b>GPU</b>	250 MHz	250 MHz	250 MHz	500 MHz
<b>Jeu d'instruction</b>	32 bits	32 bits	64 bits	64 bits
<b>Consommation max</b>	480 mA (2.3 W)	400 mA (2.1W)	730 mA (3.7W)	1280 mA (6.4W)

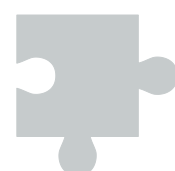
Figure 2 - Tableau comparatif des modèles de Raspberry Pi (Modèles B uniquement)

<sup>7</sup> MURUGESAN, San. Harnessing green IT: Principles and practices. *IT professional*, 2008, vol. 10, no 1, p. 24-33.

<sup>8</sup> Raspberry Pi Foundation. Accédé le 25/12/2019. <https://www.raspberrypi.org/blog/and-breathe/>

<sup>9</sup> GPIO : General Purpose Input/Output, littéralement Entrée-sortie à usage général

<sup>10</sup> ABRAHAMSSON, Pekka, HELMER, Sven, NETTEKARN, Phaphoom, *et al*. Affordable and Energy-Efficient Cloud Computing clusters: The Bolzano Raspberry Pi Cloud Cluster Experiment. *IEEE 5th International Conference*, 2013, vol. 2, pp. 170-175.





## Genèse et historique du clustering sur Raspberry Pi

Les premiers documents de clustering sur Raspberry Pi remontent à la fin de l'année 2012, avec des clusters de Raspberry Pi 1 (Model B). L'objectif du cluster, constitué de 64 Raspberry Pi, était de permettre aux étudiants de l'université de Southampton de s'initier aux calculs hautes-performances, et au clustering<sup>11</sup>. Le projet utilisait alors une image de Debian Wheezy, et MPI afin de gérer la communication entre tous les nœuds du cluster. La capacité totale était de 16Go de RAM, avec 64 processeurs mono-cœurs cadencés à 700MHz. À la même époque, d'autres projets similaires ont vu le jour, avec pour but de tester des logiciels de calculs distribués sur des machines rapidement remplaçables et facilement maintenables<sup>12,13</sup>. Cependant, en raison des nombreuses limitations de ces cartes, ces expérimentations sont restées marginales et dans un but de test uniquement.

Avec l'arrivée des cartes Raspberry Pi 3 en février 2016, les possibilités ont évolué, notamment grâce à une amélioration significative du processeur (quadruple cœur à 1.2GHz), ainsi qu'au passage à 1Go de RAM.

Plusieurs projets ont ainsi vu le jour, notamment la création d'un cluster Hadoop, un projet permettant d'effectuer du calcul distribué, mais également du Kubernetes, avec l'arrivée de la conteneurisation. Ces initiatives sont restées cependant confidentielles, la puissance disponible étant toujours insuffisante pour une réelle utilisation en production.

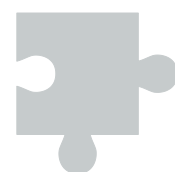
Toutefois, avec l'arrivée des dernières révisions de Raspberry Pi (3B+ et 4B, ce dernier offrant jusqu'à 4Go de mémoire), les initiatives et preuves de concepts se sont multipliées. Le premier projet a émané directement de la fondation Raspberry elle-même, puisque cette dernière a annoncé avoir migré son site vitrine sur un cluster de 18 Raspberry Pi 4B, tout en évoquant quelques problématiques liées à l'alimentation en énergie des Raspberry, l'absence d'un démarrage réseau et l'obligation d'utiliser des mémoires flash peu fiables<sup>14</sup>. Ce projet fait toutefois, aujourd'hui encore, figure d'exception, puisqu'il est le seul à avoir atteint le statut de « production » au sein d'une entreprise de premier rang.

<sup>11</sup> COX, Simon, COX, James, BOARDMAN, Richard, et al. Iridis-pi: a low-cost, compact demonstration cluster. *Cluster Computing*, 2014, vol. 17, no. 2, pp. 349-358.

<sup>12</sup> D'AMORE, Mariano, BAGGIO, Rodolfo, VALDANI, Enrico, A practical approach to big data in tourism: a low-cost Raspberry Pi cluster. *Information and Communication Technologies in Tourism 2015*, 2015, pp. 169-181.

<sup>13</sup> PO TSO, Fung, WHITE, David, JOUET, Simon, et al. The Glasgow Raspberry Pi Cloud: A Scale Model for Cloud Computing Infrastructures. *IEEE 33rd International Conference on Distributed Computing Systems Workshops*, 2013, pp. 108-112.

<sup>14</sup> Mythic Beasts & Raspberry Pi Foundation, Raspberry Pi on Raspberry Pi. Accédé le 25/12/2019. <https://blog.mythic-beasts.com/2019/06/22/raspberry-pi-on-raspberry-pi/>



Cependant, d'autres projets à des fins de tests ou d'usage interne existent. Il est notamment important de citer le supercalculateur d'Oracle, basé sur 1060 Raspberry Pi 3B (soit une capacité de 4240 cœurs à 1.2GHz et 1060Go de RAM)<sup>15</sup>, ou l'utilisation d'un cluster de 750 de ces mêmes cartes (3000 cœurs, 750Go RAM) par le laboratoire de Los Alamos<sup>16</sup>, à des fins de tests de logiciels à calcul distribué. Si ces plateformes ne sont pas utilisables en l'état pour des applications devant être déployées en production pour diverses raisons, elles forment, par leur prix et leurs performances, un excellent outil de test, en permettant de créer rapidement une infrastructure à faible coût.

## État de l'art du clustering sur Raspberry Pi

Le clustering sur Raspberry Pi reste une pratique récente et marginale. Actuellement, la majorité des clusters fonctionnent soit via des techniques de conteneurisation, soit avec SLURM<sup>17</sup>, un logiciel permettant de répartir les tâches de travail entre chaque nœud, très utilisé sur la majorité des supercalculateurs modernes.

### Calcul distribué via SLURM

Peu de projets existent sur Raspberry Pi à des fins de distribution de calcul entre plusieurs cartes. Cependant,

<sup>15</sup> ServerTheHome, Oracle shows 1060 Raspberry Pi Supercomputer at OOW. Accédé le 25/12/2019. <https://www.servethehome.com/oracle-shows-1060-raspberry-pi-supercomputer-at-oow/>

<sup>16</sup> Los Alamos National Laboratory, Scalable clusters make HPC R&D easy as Raspberry Pi. Accédé le 25/12/2019. <https://www.lanl.gov/discover/news-release-archive/2017/November/1113-raspberry-pi.php>

<sup>17</sup> SLURM : solution open source d'ordonnancement de tâches informatiques

certaines personnes ont créé des mini-clusters dans l'optique de démontrer sa faisabilité<sup>18</sup>. À cet effet, ils ont notamment utilisé SLURM, un logiciel de référence dans la distribution de calcul, et largement utilisé dans ce but. Le dernier article à ce sujet explique de manière approfondie la démarche à effectuer pour créer un cluster de quatre cartes Raspberry Pi 3B, trois agissant en worker, et une répartissant la charge. Il convient cependant de noter que cet usage est fortement limité par les faibles capacités des Raspberry Pi, y compris en clustering, et du ratio calcul/électricité peu rentable.

En effet, en se basant sur les données de Summit, plus puissant supercalculateur en date de juin 2019<sup>19</sup>, il faudrait environ 8 400 000 Raspberry Pi 3B+ pour égaler la puissance théorique, soit une consommation de 51,8gW, c'est-à-dire 5 fois plus que Summit (basé sur une consommation de 5.0W par Raspberry pour une puissance de 24GFLOPs, conformément aux spécifications techniques<sup>20</sup>).

La majorité des clusters de Raspberry Pi sont donc basés sur des techniques de conteneurisation.

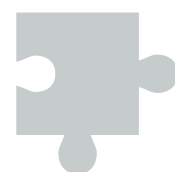
### Conteneurisation

La conteneurisation repose sur des fondements proches de la virtualisation : on isole l'environnement d'exécution du programme, tout en partageant le noyau de l'hôte. Cette technologie permet d'offrir de meilleures

<sup>18</sup> MITCHELL, Parker J., YOUNG, Aaron R., SANGID, Jordan, et al. Performance, Management, and Monitoring of 68 node Raspberry Pi 3 Education Cluster. Big Orange Bramble (BOB). *SpringSim HPC*, 2017.

<sup>19</sup> Top 500 list, June 2019. Accédé le 25/12/2019. <https://www.top500.org/lists/2019/06/>

<sup>20</sup> Raspberry Pi Foundation, Raspberry Pi 3B+ Specs and Benchmarks. Accédé le 25/12/2019. <https://www.raspberrypi.org/magpi/raspberry-pi-3bplus-specs-benchmarks/>



performances et surtout, un meilleur partage des ressources. En vogue depuis 2016 notamment grâce à l'apparition de Docker, qui permet de gérer des containers de manière simple, et Kubernetes qui permet de faire du clustering avec des containers, c'est l'approche la plus souvent utilisée dans le cadre d'un clustering sur Raspberry Pi.

De nombreux projets se basent donc sur un ensemble de Raspberry montés en cluster via Kubernetes. La rapidité d'installation et la fiabilité de ce logiciel sont les facteurs clés d'une si large adoption. Ces clusters permettent alors de déployer rapidement des services, de les faire passer à l'échelle en fonction de la sollicitation de chaque service, tout en gardant une infrastructure simple à manager.

Dans la lignée de la conteneurisation, l'idée d'une infrastructure serverless est également devenue de plus en plus présente au sein de la communauté informatique. Le principe est de ne plus avoir de services, mais un ensemble de fonctions, des petits morceaux de codes, interconnectés entre eux. On parle également d'architecture microservices.

À cette fin, un projet basé sur Docker et Kubernetes existe, et se nomme OpenFaaS. Ce dernier permet d'abstraire la gestion des nœuds pour déployer des microservices et des fonctions. Une des cartes sert alors de nœud maître (manager), et les autres de nœuds esclaves (*workers*). Plusieurs projets ont été menés sur Raspberry avec ce système.

Si l'aspect logiciel de ces clusters est plutôt abouti, leur conception sur le plan matériel reste à désirer. Le premier point d'achoppement concerne la possibilité de rajouter

ou de retirer des machines au cluster : tels que présentés dans les articles précédemment cités, les clusters sont difficilement évolutifs, en raison de leur complexité de conception. Ils n'obéissent en effet à aucune règle de conception ou d'organisation, l'ajout de cartes pourrait rendre instable la température d'exposition de ces dernières, ou être un souci d'organisation majeur concernant la connectique.

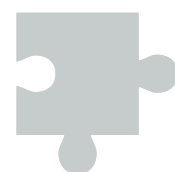
Par ailleurs, l'empreinte écologique de ces dispositifs est discutable, puisque l'ensemble des cartes, même si elles sont en état d'attente (*idle*) en raison de l'absence de tâches à traiter, restent actives et consomment donc de l'électricité en permanence.

## La suite ...

L'équipe d'Architecture d'Entreprise du groupe be-ys a pour objectif de créer un cluster de Raspberry Pi, fournissant la capacité de Function as a Service, tout en adressant les problématiques évoquées tout le long de ce dossier.

Pour cela, il s'agit de répondre aux défis suivants :

- Industrialisation du processus de création de cluster,
- Amélioration de l'empreinte énergétique du cluster.





## En guise de conclusion

### *Industrialisation du processus de création de cluster*

Avec de nombreuses sous-problématiques, à savoir : la conception d'un cluster rapidement déployable dans un datacenter, avec le moins de connectique extérieure possible ; tout en s'assurant que ce dernier soit totalement autonome pour fonctionner, tant du point de vue réseau, calcul que stockage des informations. Ce sont de réelles questions d'ingénierie physique et électriques qui sont à résoudre.

### *Amélioration de l'empreinte énergétique du cluster*

Ceci passe par le développement de solutions requérant le moins de matériel possible, tout en s'assurant de la facilité du remplacement des pièces défectueuses ; mais également en permettant l'extinction et le démarrage des nœuds de calcul selon la charge.

Même si le sujet du clustering sur Raspberry Pi n'est pas une nouveauté, c'est l'approche proposée ici qui est originale. C'est une vue à long terme, basée sur une ingénierie de simplification (modèle plug & play), intégrant les critères de durabilité et de robustesse. L'objectif étant de disposer d'un système évolutif où tout changement de « pièces » est rapide.

Nous sommes également sur une solution adaptée aux défis écologiques auxquels l'IT n'échappe pas, notamment sur le plan de la consommation d'énergie. Pour faire simple, dans les systèmes existants jusqu'à présent, chaque Raspberry Pi avait sa propre alimentation électrique, avec l'approche présentée dans ce dossier, il n'y a plus qu'un point d'alimentation et les machines ne fonctionnent qu'à la demande.

Des projets comme celui-ci ne sont possibles que dans un environnement favorable, créé par des entreprises qui font en sorte de proposer un cadre à la RECHERCHE, de nourrir l'INNOVATION, de laisser des espaces d'expression aux équipes, leur permettant ainsi de s'extraire du quotidien pour imaginer et construire le futur, c'est exactement dans cette dynamique qu'œuvre le groupe be-ys depuis 20 ans.

Ce dossier s'inscrit dans le cadre du travail de fond que conduit EFCSE sur les sujets qui peuplent le cyberspace et qui, sur la scène internationale, concourent à structurer l'Europe dans l'expression de sa Souveraineté Numérique.

