

Évolution historique des performances versus coûts des Raspberry Pi

David Beserra^{1,2}, Nida Meddouri^{1,2},
Celia Restes¹, Anys Nait Zerrad¹, Basma Bouharicha¹, Aurore Duvernoy¹
first_name.last_name@epita.fr

¹Ecole Pour l'Informatique et les Techniques Avancées (EPITA)
18 Rue Pasteur, 94270 Le Kremlin-Bicetre, Paris.

²EPITA Research Laboratory (LRE)
Le Kremlin-Bicetre, France.

30 juin 2023

L'émergence des *Single-Board Computers (SBC)* offre une multitude d'applications différentes :

- Surveillance des appareils électroménagers
- ...
- Contrôle des ventilateurs improvisés pour un traitement d'urgence des cas graves de COVID-19.

Raspberry Pi

- 2012 - 2019 : le SBC le plus commercialisé (30 millions d'unités vendues - 12/2019).
- Capacité à collecter en continu des données à partir des capteurs dans divers types d'environnements.
- **Faible puissance de traitement.**
- Données collectées → Traiter dans un cloud → Puissance de traitement virtuellement infinie
- **Augmentation considérable de la latence dans (1) la réception des données brutes depuis le cloud, et dans (2) le retour des données traitées**
- ⇒ Recherche d'alternatives aux solutions "**all-in-the-cloud**".

L'émergence d'EDGE computing

- **Évolution des capacités de SBC (en termes des CPU, mémoire et réseau)**
→ **Beaucoup plus de puissance que nécessaire pour la collecte et la transmission des données des capteurs !**
- Possibilité d'utiliser l'excès de capacités de tels SBC omniprésents dans un environnement.
→ en tant que "nearby ressources" pour l'exécution des tâches.

Understanding

- Leurs performances et les coûts associés.
- Leurs évolutions historique → aider à identifier ou confirmer des tendances.
- Utile pour planifier la capacité souhaitée pour les infrastructures ou applications.

Problématique

- **L'idée de** comparer le rapport coût/performance de différents modèles SBC n'est pas nouvelle.
- **MAIS**, aucune étude n'a porté sur l'évaluation de l'évolution historique du rapport coût/performance des Raspberry Pi.
- **Donc** : Comparaison du rapport coût/performance de plusieurs générations de Raspberry Pi en utilisant des valeurs ajustées de l'inflation du \$.

Plan :

- 1 État de l'art
- 2 Objectifs et Méthodologie expérimentale
- 3 Results
- 4 Conclusion

Plan :

- 1 État de l'art
- 2 Objectifs et Méthodologie expérimentale
- 3 Results
- 4 Conclusion

Plusieurs études sur les performances des SBCs dans divers domaines d'application

[cox2014iridis] & [beserra2017performance]

- Évaluer la capacité de traitement maximale d'un cluster *Raspberry Pi* - 1^{iere} génération en termes de :
 - Giga FLOPS ^a,
 - La bande passante du réseau en Mbps ^b,
 - Les performances d'E/S sur disque en Mo/s ^c.
- Effectuer des tests similaires sur d'autres SBCs,
- Évaluation des performances de la RAM lors de la communication entre des paires de MPI ^d processus

a. Floating-point Operations Per Second / Opérations en virgule flottante par seconde

b. Megabits per second / Mégabits par seconde

c. Megabytes per second / Mégaoctets par seconde

d. Message Passing Interface

Plusieurs études sur les performances des SBCs dans divers domaines d'application



[hawthorne2020evaluating]

- Comparaison des performances d'un cluster Raspberry Pi avec un NUC^a économe en énergie et un MRD^b sur 3 algorithmes cryptographiques (AES, Twofish et Serpent)
- Évaluer les performances des 3 systèmes à l'aide du benchmark HPL^c, en GFLOPS.

-
- a. Next Unit of Computing
 - b. Mid-Range Desktop
 - c. High-Performance Linpack

[beserra2017comparing] & [qureshi2020performance]

- Vérification des performances de Raspberry Pi ou d'ordinateurs similaires dans les applications Big Data
- Un grand nombre d'opérations de lecture et d'écriture sur disque.

Plusieurs études sur les performances des SBCs dans divers domaines d'application



[qureshi2019energy]

- Évaluation des performances de Raspberry Pi 2 et d'un autre SBC pour les applications Hadoop, à l'aide des benchmarks de performances pour mesurer :
 - le temps d'exécution des tâches,
 - l'utilisation de la mémoire/du stockage,
 - le débit du réseau,
 - la consommation d'énergie.

[cloutier2016raspberrypi] & [morabito2017virtualization]

- Évaluation des performances de 17 types différents de SBC, y compris Raspberry Pi 1B, 2B et 3B en termes de GFLOPS et consommation d'énergie en Watts (W).
- Calcul le ratio $\text{dollar}/\text{GFLOPS}$ de chacun de ces systèmes.
- Calcul le coût énergétique en W par GFLOPS obtenu.

None of the works

- Utilise toutes les générations de Raspberry Pi dans leurs études.
- Considère la dévalorisation/dépréciation du \$ au fil du temps dans les calculs métriques.

Plan :

- 1 État de l'art
- 2 Objectifs et Méthodologie expérimentale**
- 3 Results
- 4 Conclusion

L'objectif général de ce travail

- Aperçu de l'évolution historique des capacités de Raspberry Pi.
- Relation entre le coût d'acquisition et la performance offerte.

Vérifier l'évolution

- 1 De la capacité de traitement maximale des différents modèles de Raspberry Pi en termes de GFLOPS, et du coût en \$ par GFLOPS ;
- 2 De la capacité du mémoire disponible et du coût en \$ par Mo ;
- 3 De la capacité du communication de la mémoire principale, en termes de bande passante (en Mbps) et du latence de la communication (en s), ainsi que le coût en \$ de la bande passante maximale ;
- 4 De la capacité du communication dans le réseau local, en termes de bande passante (en Mbps) et du latence de la communication (en s), ainsi que le coût en \$ de la bande passante maximale.

Modèles Raspberry Pi de type B

- Les modèles B sont la gamme principale de Raspberry Pi,
- Toujours lancé avant les modèles A ou d'autres spin-offs tels que les modèles Zero;
- Il a 4 générations, contre 3 générations de la gamme A et deux de la gamme Zero;
- Le prix de lancement des modèles B a toujours été de \$35.
- Le prix de lancement des modèles A a été variable.

La valeur réelle du \$ a changé au cours de la période de 2012 à 2019

- La valeur de lancement des différents modèles de Raspberry Pi a également subi des variations.
- Pour établir des relations coût-performance : nous avons mis à jour la valeur du \$ au moment de la sortie de chaque modèle Raspberry Pi à la valeur du \$ le 31/03/2023.
- Les valeurs en \$ ont été obtenues par l'intermédiaire du *Bureau of Labor Statistics*^a

a. Official agency of the U.S. government

HPL benchmark

- Mesurer les flops effectués par un système lors d'une résolution de système d'équations linéaires.
- Benchmark par défaut utilisé par le classement TOP 500 des supercalculateurs les plus puissants.
- Méthode standard pour estimer les performances de calcul des systèmes informatiques.

NetPIPE benchmark

- ^a Mesurer la bande passante et la latence du mémoire ainsi que du réseau
- Surveiller la surcharge du réseau à l'aide de protocoles tels que TCP, UDP et MPI.
- Tests de ping-pong simples, envoi et réception de messages de taille croissante entre quelques processus, que ce soit sur un cluster connecté par Ethernet ou dans un seul système multicœur.

a. Network Protocol Independent Performance Evaluator

Tous les Raspberry Pi utilisés dans cette étude

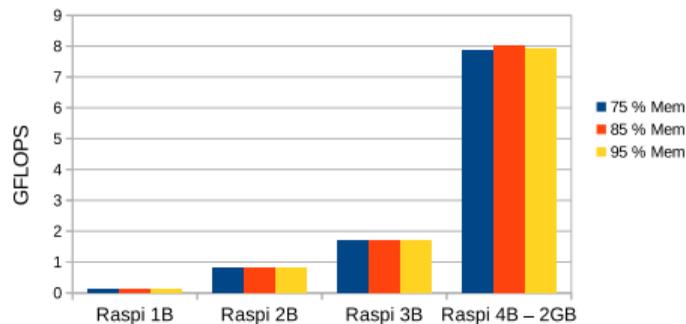
- Raspbian 5.15 comme système d'exploitation.
- Bibliothèque d'algèbre linéaire Atlas 3.16 et OpenMPI 4.0.6.
 - La première bibliothèque peut influencer les performances obtenues par HPL
 - le second peut influencer les performances de HPL et de NetPIPE
- Aucun Raspberry Pi n'utilise de système de ventilation.
 - Pour réduire les coûts
 - 100% prêt à l'emploi.
- On s'attend à ce que les résultats représentent la performance maximale **dans ces conditions**, et pas nécessairement la performance maximale **"théoriquement possible"**

Plan :

- 1 État de l'art
- 2 Objectifs et Méthodologie expérimentale
- 3 Results**
- 4 Conclusion

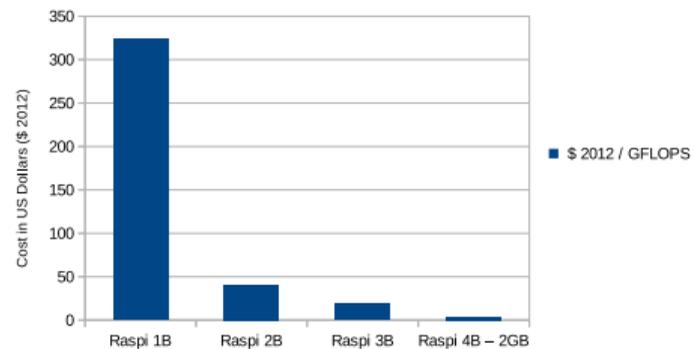
Figure 1 – Computing Performance

Computing performance of Raspberry Pi B models as a function of memory utilization for HPL benchmark (75%, 85%, 95%).



(a) Performance evolution.

Dollar paid per GFLOPS



(b) Cost per GFLOPS evolution

Figure 2 – Cost per MB

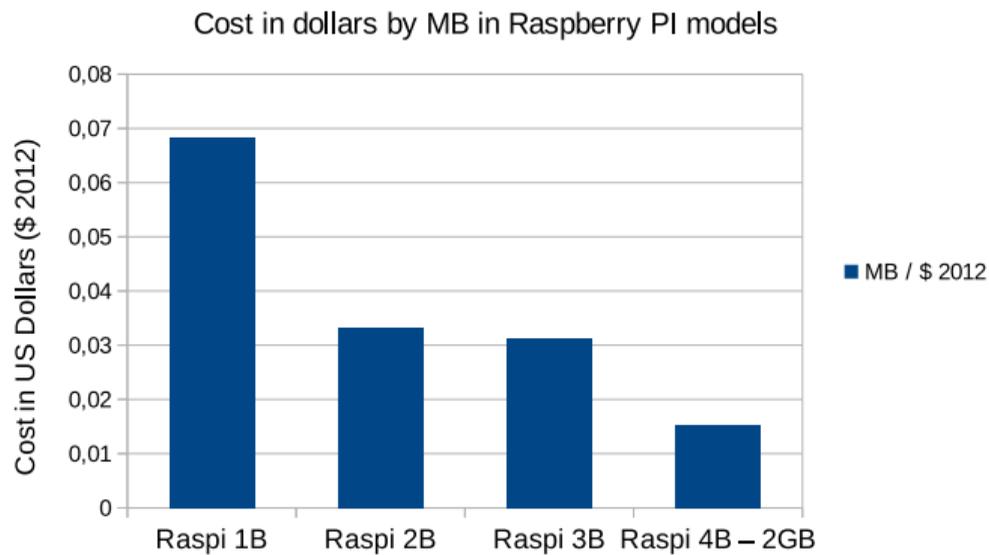
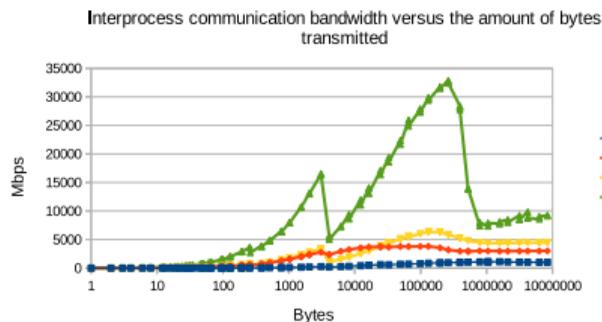
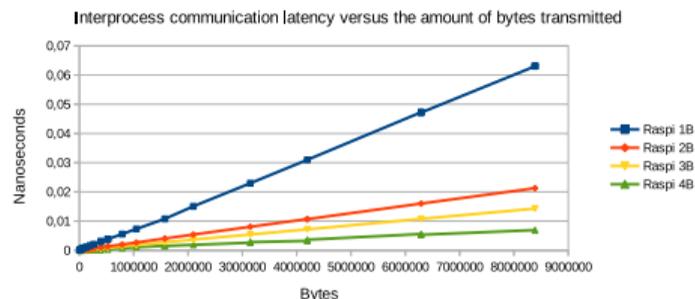




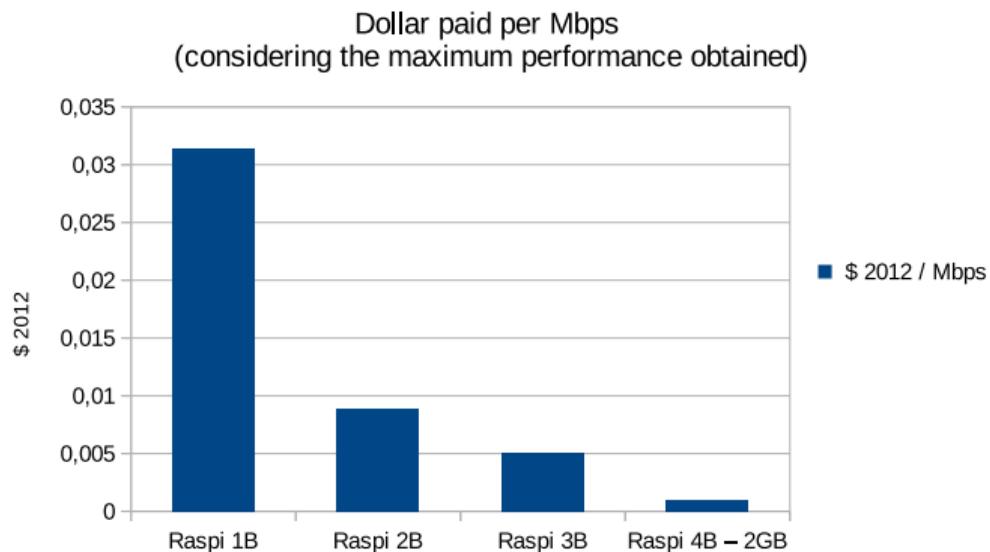
Figure 3 – Evolution of Inter-Process Communication performance and costs



(a) Bandwidth.

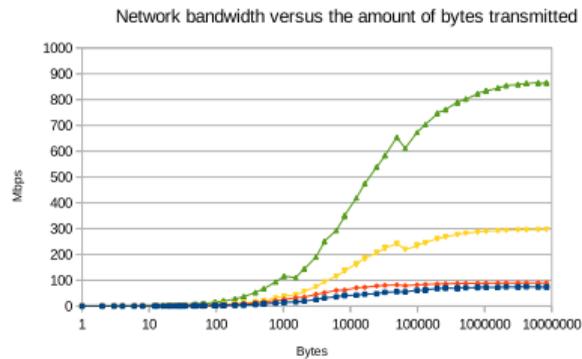


(b) Latency

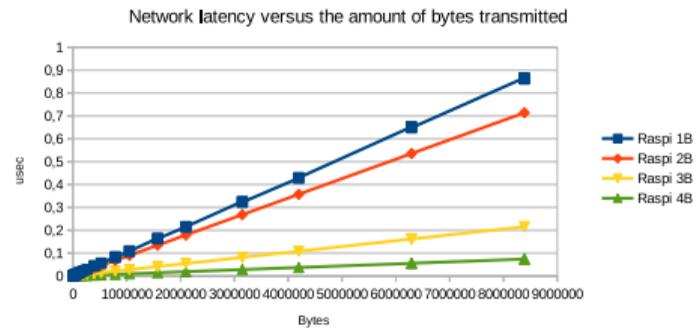


(c) Cost per Mbps

Figure 4 – Evolution of network performance and costs

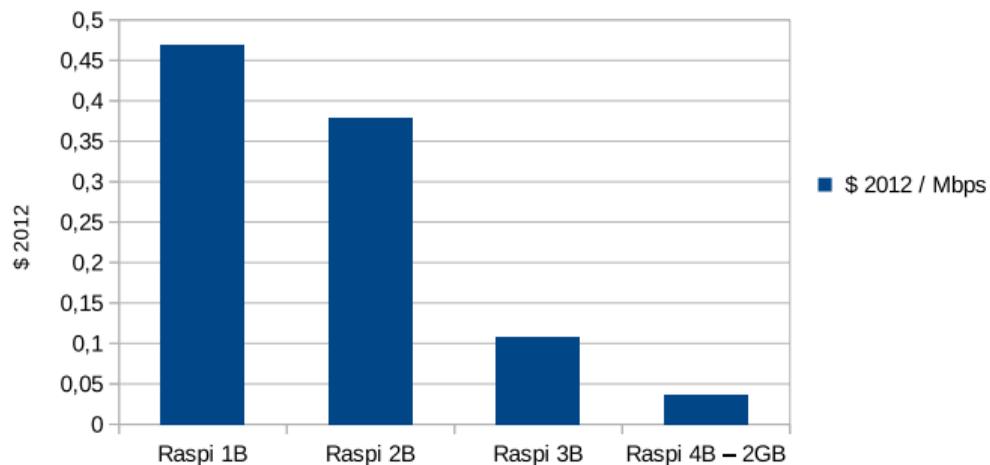


(a) Bandwidth



(b) Latency

Dollar paid per Mbps
(considering the maximum performance obtained)



(c) Cost per Mbps

Plan :

- 1 État de l'art
- 2 Objectifs et Méthodologie expérimentale
- 3 Results
- 4 Conclusion**

In this work

- Une analyse comparative de l'évolution des performances de la gamme B des Raspberry Pi et des coûts associés à ces performances.
- Toutes les générations de Raspberry Pi disponibles sur le marché
- Les prix des ordinateurs ont été ajustés sur la base d'une seule valeur en \$^a.

a. le \$ de 2012, l'année du lancement du premier Raspberry Pi

The results

- Tendence claire à l'augmentation des performances au fil du temps
- Une tendance à la baisse du prix payé pour la performance

As future work

- Étendre les expériences à tous les modèles de Raspberry Pi.
- Refaire les tests et observer la consommation énergétique de chaque modèle de Raspberry Pi
- Observer la relation entre la consommation d'énergie et les performances obtenues.