

WEB ENERGY ARCHIVE (WEA)

Constituer une base de référence internationale de l'évolution de la consommation électrique des sites Web

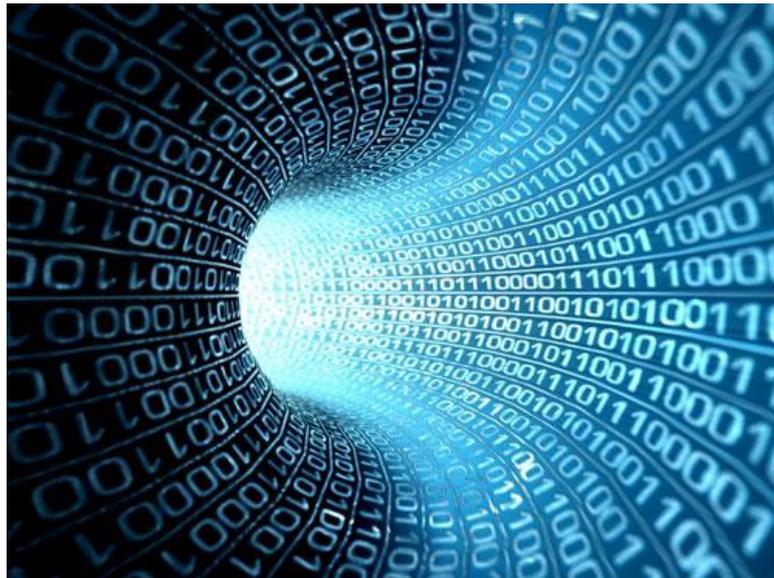


GREEN CODE LAB

Avec le soutien de



Convention 1204C0002 suivi par Alain Anglade



Version 2.0
20/12/2013

Rapport Final

info@greencodelab.fr

06 63 09 06 90

PROJET WEB ENERGY ARCHIVE PORTE PAR LE GREEN CODE LAB

Constituer une base de référence internationale de l'évolution de la consommation électrique des sites Web

CONSTATS

Obésité du logiciel

Sites web qui n'en finissent plus de se charger, obligation de renouveler des ordinateurs parfaitement fonctionnels pour installer une nouvelle version de logiciel, problèmes de réactivité et de performance des applications métier : l'obésité des logiciels et des données handicape les entreprises tout en augmentant inexorablement le coût de fonctionnement de leur système d'information.

Pour le grand public, cette obésité est la cause d'une obsolescence ressentie du matériel et donc d'un renouvellement prématuré ayant un impact sur l'environnement.

Obésité du web

La consommation électrique des infrastructures de l'internet (data centers, réseaux, etc.) était estimée à 0,8 % de la consommation mondiale en 2005. En 2012, elle dépasse 2 %, soit autant que l'aviation civile [21]. L'université de Dresde a calculé que, si aucune mesure n'est prise, dans 25 ans l'Internet consommera autant d'énergie que l'humanité en 2008 (Calcul réalisé par Gerhard Fettweis de l'Université de Dresde en 2008) [22]. Le développement des pays émergents et l'essor des applications mobiles ne fait qu'empirer la situation actuelle.

Selon l'ADEME [15], l'essentiel des impacts environnementaux liés à une page web (épuisement des ressources non renouvelables, pollutions des sols et de l'air, eutrophisation de l'eau, etc.) sont notamment corrélés au temps passé par l'internaute devant son ordinateur et à la durée de vie active de cet ordinateur.

PERIMETRE DU PROJET

Principes du projet

L'objectif de WEA est de mesurer la consommation d'énergie des sites web côté client par des mesures réelles. Il s'agit de mesurer la manière dont les sites web sont proposés au « client » (au sens informatique du terme, c'est-à-dire du point de vue de l'utilisateur).

La consommation côté serveur n'est pas prise en compte dans un premier temps par la mesure (indisponibilité des moyens d'analyse sur des données réelles) mais par une estimation.

L'objectif est de se mettre en situation réelle d'utilisation des sites (navigateurs du marché, visualisation d'une page d'accueil...) et d'inventorier le plus grand nombre de sites web possible pour être représentatif de l'activité du Web.

Résultats

Les résultats attendus sont la consommation d'énergie des sites web côté client ainsi que la tendance dans le temps (par mois). Une corrélation de la consommation a été faite avec certains paramètres (taille des pages, technologies, navigateurs...)

Ces données vont permettre une orientation des recherches en écoconception ainsi que l'identification des axes de consommation des pages et sites web.

DESCRIPTION DU PROJET

Architecture générale

La solution a nécessité de mettre en place les modules fonctionnels suivant :

- Module 1 : Ce module permet de gérer les campagnes de mesure et la base de données. Il s'agit d'un robot de centralisation des mesures et de présentation des données. Il est basé sur la solution ouverte « HTTP archive ». [16].
- Module 2 : Ce module est en charge de la mesure la consommation d'énergie de différentes plates-formes clientes. Il concerne la visualisation des pages d'accueil des sites recensées dans le projet. Il est 2 est développé totalement. Un wattmètre a été utilisé pour la mesure physique ainsi qu'une librairie spécifique pour la modélisation du comportement énergétique
- Module 3 : Ce module répertorie les caractéristiques techniques des pages web des sites recensés (technologies, performance des pages web...). Ces données sont ensuite croisées avec les données énergétiques. La solution Web Page Test [17] est utilisée pour l'acquisition des données de performance.

Méthodologie de mesure

La mesure de la consommation des sites web est réalisée de manière logicielle avec le framework PowerAPI. La mesure s'effectue toute les secondes.

Afin de s'affranchir des logiciels autres que celui à mesurer, le maximum d'application est fermé.

La méthodologie de mesure est ensuite la suivante :

1. Cache navigateur vidé
2. Navigateur lancé avec page locale vide
3. Détection d'une consommation stabilisée
4. Lancement de la page
5. Attente 40 secondes
6. Fermeture navigateur
7. Répétition de la mesure le cache plein (étape 2)

Les mesures sont réalisées 3 fois afin de moyennner les mesures.

Périmètres de mesure

La mesure d'un site est réalisée sur différents environnements.

Nous avons donc choisi les configurations permettant d'avoir des plate-formes représentatives du marché :

- Configuration 1 : Intel P4HT / Windows XP
- Configuration 2 : Intel Core 2 / Windows Seven

Les indicateurs choisis ont été calculés en pondérant les parts de marchés et en prenant des mesures sur les 3 navigateurs principaux (Chrome, Internet Explorer, Firefox) avec et sans cache.

Afin de compléter les résultats, des mesures ont été effectués sur des plateformes mobiles Android. Les tests ont été réalisés sur une plate-forme matérielle LG Optimus 5 II (LG-E460) et logicielle OS Android 4.1.2. Les sondes matérielles du smartphone ont été utilisées pour récupérer les informations suivantes de tension de la batterie et d'intensité consommée

La même méthodologie que pour les plates-formes PC est utilisée :

- Cache Chrome Vidé
- Lancement de Chrome avec une page blanche

- Attente de l'idle (15 s)
- Remise à 0 de la consommation d'énergie
- Lancement de la page
- Attente 40s
- Récupération de la mesure d'énergie

RESULTATS PLATES-FORMES PC

Panel de mesure

500 sites de différents types ont été mesurés pendant une période de 1 an avec une fréquence de mesure d'un mois. Nous avons analysé dans ce rapport les mesures du mois de Novembre 2013. Les sites ont été sélectionnés pour être représentatif des sites les plus consultés. Plusieurs visiteurs ont de plus ajoutés des sites au cours de l'année de mesure ce qui a permis d'améliorer la représentativité.

Analyse de la mesure des sites

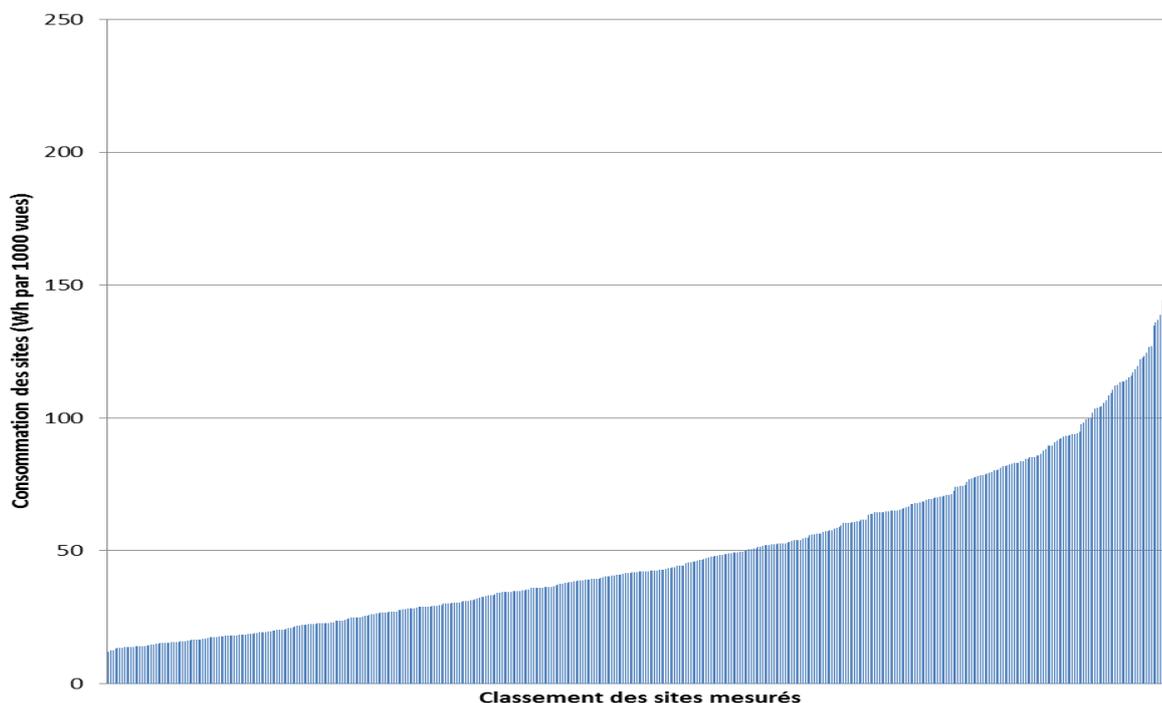
Mesures et corrélations

Plusieurs métriques ont été mesurées :

- Impact d'énergie consommée sur l'appareil client (Wh)
- Impact de mémoire vive (Mo)
- Données transférés (Mo)
- Temps de chargement des pages (s)
- Nombre de requête pour afficher une page

La répartition de l'énergie mesurée est la suivante (Consommation d'énergie Wh par 1000 pages vues).

Consommation partie cliente des sites Web

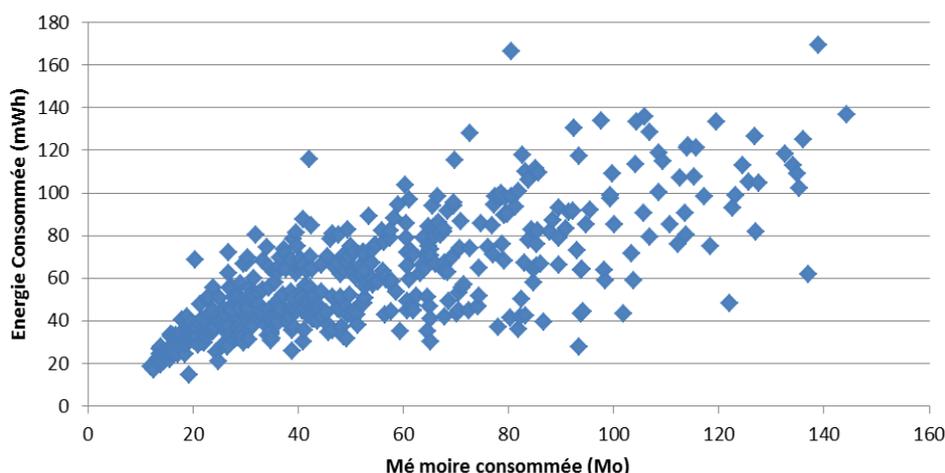


La moyenne est de 50,1 Wh. La mediane est de 42,2 Wh.

Les corrélations entre les différentes mesures sont les suivantes :

Energie / mémoire	Energie / Page speed	Energie / Nb Req	Energie / Chargement	Energie / Taille	Mémoire / page speed	Mémoire / Nombre de req	Mémoire / Chargement	Mémoire / Taille
0,77	0,17	0,69	0,30	0,50	0,23	0,73	0,39	0,6666

Energie Vs Mémoire

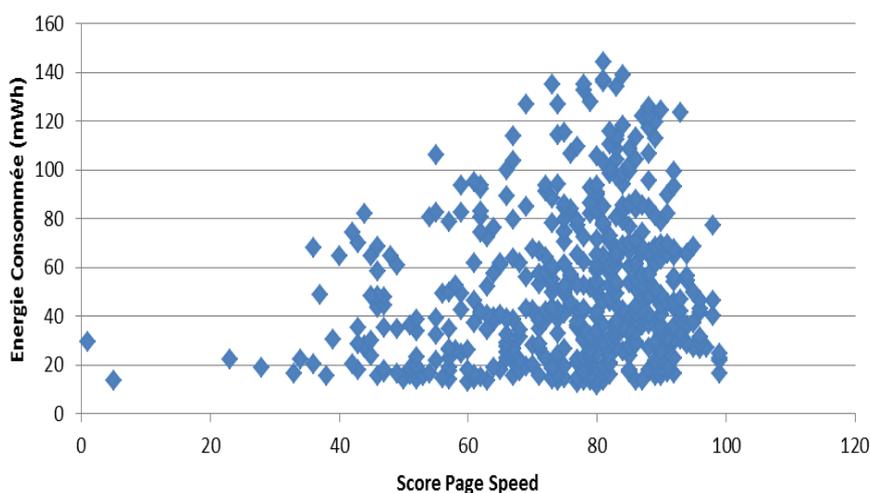


Le coefficient de corrélation pour la relation énergie / Mémoire Vive est de 0.77. La relation entre l'énergie consommée et la mémoire vive est donc forte. De la même manière, la corrélation entre la mémoire et le nombre de requête est assez forte.

L'impact des sites web sur la consommation des ressources des postes clients peut fluctuer en fonction de la plate-forme matérielle, du navigateur et du site web. On observe cependant des tendances : plus de

requêtes et des pages plus lourdes amènent des consommations de ressources plus grandes (En particulier en termes d'énergie et de mémoire). Une optimisation des ressources consommées est possible du côté des développeurs et des utilisateurs de site web.

Energie Consommée Vs Score Google Page Speed



Relation performance et éco-conception

Google Page Speed est un référentiel de bonnes pratiques de performance des pages web [19]. L'évaluation de la page donne un score sur 100. La répartition des mesures de consommation d'énergie des sites mesurés en fonction du score Google Page Speed est le suivant

Le coefficient de corrélation est de 0.03. Il n'y a donc pas de corrélation entre la performance (selon le référentiel google) et la consommation côté client. En effet, nous pouvons observer que des sites

assez performants (Score Page Speed > 90) ont des consommations disparates (répartie entre les consommations minimale et maximale de l'échantillon).

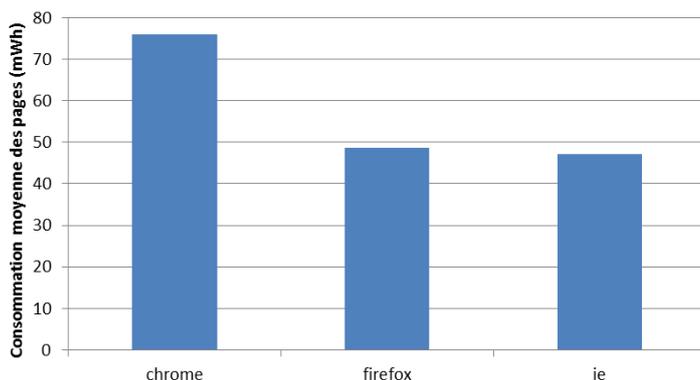
Nous expliquons cela par le fait que les préconisations de performance ont pour but de rendre disponible la page web le plus rapidement possible à l'utilisateur. On peut prendre par exemple la bonne pratique suivante qui consiste à décaler le chargement des scripts en fin de page.

Navigateurs

Firefox et Internet Explorer consomment la même énergie. Cependant Chrome est beaucoup plus consommateur (27 mWh de plus que Firefox).

Cependant quand on regarde la consommation mémoire, Chrome est toujours le plus consommateur (61Mo) mais pas de manière aussi importante. Firefox tire son épingle du jeu (13 Mo par site de moins que Chrome contre 3 Mo de moins pour IE)

Consommation des sites en fonction des navigateurs



d'éléments en cache.

Pour la gestion du cache, Internet Explorer gère mieux le rechargement (gain jusqu'à 3,3 mWh). Firefox le gère moins bien mais il y a des gains d'énergie. Par contre, on observe que Chrome consomme plus d'énergie lors du rechargement de la page la deuxième fois.

Afin d'affiner le constat, nous avons écartés les sites qui avaient un mixte d'éléments cachés et non cachés.

On remarque que les gains sur Internet Explorer sont moins importants si il y a peu d'éléments mis en cache. Cependant, la conclusion est inverse pour Chrome et Firefox : Il y a plus de gains quand il n'y a pas

Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que même si une page n'est pas re-téléchargée (car en cache), il faut cependant réaliser de nombreuses tâches : Communiquer avec le serveur pour récupérer les informations http, Analyser les résultats, Rechercher les éléments en cache, Lire les éléments sur le disque, Afficher les éléments.

Ces tâches peuvent être plus ou moins consommatrices par rapport au téléchargement direct des éléments. Les différents navigateurs ne semblent pas gérer de la même manière cette mise en cache. Chrome et Firefox semblent mieux gérer le re-téléchargement que la reprise du cache. Ceci peut s'expliquer par une meilleure gestion du cache mémoire (et pas disque) ou de l'écriture des fichiers sur disque.

RESULTATS PLATES-FORMES ANDROID

La moyenne de consommation d'énergie est de 9.2 mWh et la médiane de 8.9 soit environ 5 fois moins que les plates-formes PC.

La moyenne de consommation cache vide est de 9.43 mWh et celle avec un cache plein est de 9.00. Les gains sont donc très faibles. Ces conclusions sont à rapprocher de celle de la plateforme PC. En effet, peu de sites intègrent la gestion du cache. De plus, comme on l'a vu sur les navigateurs, le cache n'est pas forcément bien géré et les ressources consommées pour la lecture des éléments en cache peut rendre le processus de rechargement aussi consommateur

RESULTATS PLATES-FORMES SERVEUR

Méthode de calcul

Problématique

Contrairement à l'évaluation de la partie cliente, nous ne pouvons pas mesurer réellement la partie serveur. En effet, cela nécessiterait d'intégrer des sondes de mesure au sein des serveurs de sites web. Nous avons cependant plusieurs éléments qui nous permettent d'estimer une consommation :

- La caractéristique de la page (tailles des éléments, nombre de requêtes)
- La provenance des éléments.

Une estimation de la consommation des serveurs en fonction des éléments qui sont mesurés par WEA est donc possible.

Méthode de calcul

La capacité et le dimensionnement d'un serveur peut se faire par rapport à la métrique requêtes par seconde (**ReqS**). C'est la capacité du serveur à délivrer le nombre de requêtes pendant une seconde. Ce chiffre va dépendre de la technologie du serveur.

Nous pouvons ensuite en déduire le temps serveur utilisé par une requête, c'est l'inverse du nombre de requêtes par seconde (**1/ReqS**).

Nous devons ensuite prendre comme métrique la puissance d'un serveur web. Dans la plupart des centres de données moderne, les serveurs web sont virtualisés et hébergés sur des machines physiques. La puissance du serveur web sera donc la quote part de la puissance du serveur physique hébergeant la machine virtuelle (**PServeur / NbServeur**). De plus, il est nécessaire de prendre en compte la consommation d'énergie des éléments qui constituent le centre de donnée. Il faut prendre en effet les consommations des climatisations, des éléments de puissance... Nous prendrons pour cela le Power Usage Effectiveness (**PUE**) qui caractérise l'efficacité énergétique du centre de données. (Voir bibliographie : Green Grid)

La consommation d'énergie d'une requête peut donc être calculée de la manière suivante :

$$\text{Creq (en mWh)} = (\text{PServeur (en W)} / \text{NbServeur}) * \text{PUE} * (1/\text{ReqS}) / 3600$$

Mise en pratique

Hypothèses

Dans un premier temps, nous ne pouvons pas avoir toutes ses données et nous devons mettre en place des hypothèses.

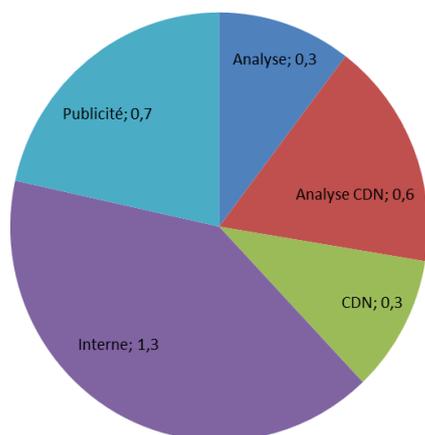
ReqS : Un serveur classique a généralement une capacité de l'ordre de 500 req/s. Certains serveurs spécifique comme les CDN (qui permettent de fournir du contenu plus rapidement) vont jusqu'à 2000 req/s [8][7]. Nous prendrons dans un premier temps 500 req/s

PServeur / NbServeur : Selon les mesures réalisées lors des opérations collectives ADEME [12], la puissance moyenne des machines virtuelles est de 20 W.

PUE moyen : Selon une étude Digital Reality, le PUE moyen des centres de données en 2012 est de 2,53. [9]

Calculs et analyse

Sur les hypothèses nous obtenons donc une consommation moyenne par requête de 28 uWh. Afin d'afficher une page complète il est nécessaire d'effectuer plusieurs requêtes (de 1 à plusieurs dizaines)



Pour tous les sites mesurés, on obtient alors la consommation moyenne de 2,7 mWh avec une médiane de 1,7 mWh.

Nous avons mis en pratique cette méthodologie sur le site lemonde.fr et obtenons un impact de 3,3 mWh pour la consultation de la page avec la répartition en fonction des les serveurs .

Nous observons que l'impact énergétique de la consultation du site sur les serveurs internes n'est pas le plus prépondérant. Cette usage réparti amène une

complexité dans l'analyse de l'impact d'un site mais aussi potentiellement un impact plus grand. L'impact d'une consultation d'une page n'est pas uniquement concentré sur le serveur, mais également sur le réseau entre le serveur et le client et sur le client. Il faut ajouter tous les serveurs et services contactés ainsi que l'impact du réseau associé. De plus, l'impact sera différent en fonction du lieu où sont situés les serveurs (encore plus si on prend en compte les émissions de gaz à effet de serre qui peuvent être différents entre pays).

ANALYSE MACROSCOPIQUE

Partie PC et Serveur

Nous avons pris l'audience confirmée des 100 sites les plus visités en France selon ODJ/Médiamétrie [11].

La consommation totale calculée représente l'impact de consommation d'énergie côté client des sites les plus consultés. Pour chaque site, le calcul est le suivant :

Consommation (MWh/an) = Nombre de page vues par mois * Consommation unitaire (Wh) * 12 / 1000000

On obtient un impact entre 2MWh et 1940 MWh par an. L'impact total de ces sites est de 8,3 GWh par an soit l'équivalent de 3077 foyers français.

On parle d'impact car il s'agit du surcout de consommation côté client créé par le site. Afin d'avoir la consommation totale de la consultation, il est nécessaire de prendre la consommation du poste utilisateur. Si l'on considère une puissance moyenne de 42W (ADNOuest) et la durée de mesure de 40 secondes, il faut rajouter à la métrique de consommation d'énergie $42*40/3600$ soit 466 mWh par page vue. On obtient alors une consommation de 68 GWh soit la consommation de 25 400 foyers.

Avec les modes de calcul du chapitre précédent côté serveur, on a pour chaque site :

Consommation (MWh/an) = Nombre de page vues par mois * Consommation unitaire (2.7 mWh) * 12 / 1000 000 000

L'impact de ses mêmes sites côté serveur est de 0,58 GWh. La consommation totale est de 171 Peta Octet soit 5,7 millions de DVD Blu-ray. Cette masse d'information n'impacte pas uniquement le client mais aussi le réseau et les serveurs. En effet, chaque Octet reçu par le client passe par des éléments réseau (box, switch, routeurs...) et sont transmis par des serveurs.

Nous avons pris l'hypothèse d'une optimisation possible de ces sites : Ces 100 sites consommeraient au maximum la moyenne de tous les sites (49 mWh et 1,7 Mo pour la taille de la page). Les gains potentiels seraient de 2,24 GWh soit la consommation électrique de 833 foyers et de 48,7 Po

PARTIE ANDROID

La consommation sur les plates-formes mobiles est moindre : en moyenne 9 mWh contre 49 mWh sur les plateformes fixes. Cependant on a une disparité importante : 5 mWh pour les sites les plus légers contre 13 mWh pour les plus lourds.

Sur le téléphone testé, on a une capacité batterie de 1700 mAh soit en prenant la tension moyenne de la batterie de 4V, une capacité de 6800 mWh. En prenant nos hypothèses de consultation (40 s par page soit 90 pages par heures), si l'utilisateur consulte des sites pendant 1 heure, la consommation sera la suivante :

- Sites les plus légers : $90 * 5$ mWh soit 450 mWh ou 6,6 % de la capacité totale
- Sites les plus lourds : $90 * 13$ mWh soit 1170 mWh ou 17,2 % de la capacité totale

On voit clairement que la consommation ressource des sites web sur un smartphone peut avoir un impact non négligeable sur la batterie. Sur une hypothèse de 1 heures de consultation par jour, on pourra avoir une différence de 10,6 % d'autonomie en moins soit quasiment un cycle de décharge en plus tous les 10 jours.

CONCLUSIONS

Des sites web pas tous égaux devant l'éco-conception

La mesure de la consommation de ressource par WEA montre qu'il existe une grande disparité entre les 500 sites web. Il existe une corrélation entre le nombre de requêtes, la taille de la page et la mémoire vive consommée sur le poste client et l'énergie consommée. De la même manière, la corrélation entre mémoire et énergie existe. Par contre, les relations de cause à effet n'ont pas été prouvées. En effet, par exemple, est-ce le nombre de requêtes qui influe sur la mémoire vive, ou alors ou la taille des requêtes ; est-ce que la moindre consommation de mémoire vive impacte la consommation d'énergie... Cependant on observe que la frugalité des sites web en termes d'éléments (nombre de requêtes, taille des éléments...) amène automatiquement une réduction des ressources consommées (Energie et mémoire).

Ce constat est d'autant plus important que l'on observe que les sites les plus visités (sites d'information en particulier) sont aussi les plus lourds. Compte tenu de l'effet d'échelle dû aux millions de visiteurs de ces sites, l'impact de la phase d'usage est largement prépondérant du côté des utilisateurs. En effet, nous avons prouvé que la consommation d'énergie côté client était 100 fois plus importante que celle côté serveur.

Cette disparité existe de la même manière entre les navigateurs. On montre en effet que les ressources consommées par Google Chrome sont largement supérieures à celles des autres navigateurs. Globalement, les éditeurs ont tout intérêt à maîtriser cet impact.

On observe encore plus ce besoin d'optimisation dans la gestion du cache. Les navigateurs n'amènent en effet que très peu de gain lors du rechargement de la page. Ceci n'enlève cependant pas le bénéfice des mécanismes de cache côté serveur et côté du réseau. Il est cependant dommage que la partie client, qui comme nous l'avons dit peut être prépondérante dans les impacts, n'en bénéficie pas. Ce constat est malheureusement vrai sur les plates-formes mobiles où l'efficacité est encore plus importante.

Sur ces plates-formes, on constate une consommation moindre de ressource mais la même disparité dans les niveaux de consommation. L'impact des sites sur l'autonomie de la plate-forme est alors non négligeable entre un site optimisé et un site non optimisé.

On observe de plus une tendance des sites web à utiliser des services extérieurs (comme par exemple les CDN ou des moteurs d'analyse). L'impact environnemental d'un site web en est d'autant plus complexe. Cependant, force est de constater que l'impact d'un service est extrêmement réparti : serveur principal, réseau, clients mais aussi serveurs externes et réseau associé. L'impact unitaire de tous ces éléments est peut-être faible mais la somme de tous les services et l'effet d'échelle rend la mesure et la maîtrise de cet impact nécessaire.

Une plate-forme qui a montré son intérêt

Au-delà des résultats sur la consommation de ressources des sites web, la plate-forme WEA a montré plusieurs intérêts. En effet, tout au long du projet, les contributeurs et membres du Green Code Lab ont utilisé WEA pour des ateliers, des études et des démonstrations lors de salons, conférences. Il en ressort plusieurs choses notables :

- La plate-forme permet de sensibiliser les utilisateurs (pas uniquement les développeurs) à l'impact environnemental des sites web. Les métriques simples et l'étiquette énergétique permettent en effet de comprendre concrètement l'impact d'un site web.
- WEA permet de lever des alertes auprès de sociétés qui pensaient avoir appliqué des bonnes pratiques en termes d'éco-conception mais qui sont au final très consommatrices en termes de ressources. WEA est un outil de pilotage pour les décideurs.
- Le sentiment commun est que performance et éco-conception sont liées. Les mesures WEA montrent que ce n'est pas forcément aussi corrélé. Il est nécessaire de mesurer concrètement les bonnes pratiques pour énoncer qu'une pratique de performance est ou non en accord avec l'éco-conception.
- Même si les hypothèses sont perfectibles, WEA permet de caractériser précisément l'impact environnemental d'un site web côté client et d'agir concrètement.

De nombreuses évolutions possibles pour WEA

Afin d'être représentatif de l'usage actuel des sites web, WEA se doit d'évoluer régulièrement et de prendre en compte les tendances en terme d'usage et de matériel. C'est pour cela qu'il est nécessaire dans un premier temps d'augmenter le nombre de sites mesurés. Ceci demande de renforcer la capacité de mesure (actuellement 3000 sites par mois) par l'achat de serveur de mesure. Leur nombre est de plus à augmenter (PC fixes et mobiles). De la même manière, il serait nécessaire d'augmenter le nombre de systèmes d'exploitation et de navigateurs caractérisés avec WEA.

WEA doit de plus étendre son analyse à toute la chaîne internet : serveur mais aussi réseau. En effet, comme nous l'avons montré, il est nécessaire de mesurer pour comprendre et agir. De cette manière, afin d'identifier des points de consommation importants et des bonnes pratiques, la mesure et l'estimation globale est nécessaire. On peut imaginer par exemple que la localisation d'un serveur peut grandement impacter la consommation de la partie réseau.

Il est aussi intéressant d'ajouter des fonctionnalités nous permettant d'aller plus loin dans l'analyse des tendances (par exemple mesures de plusieurs pages du site, défilement de la page...). Ceci permettrait de plus aux développeurs et aux utilisateurs d'identifier des bonnes pratiques concrètes.

Observatoire WEA pour sensibiliser et agir

La plate-forme WEA nous permet de récolter de nombreuses informations sur les tendances de consommation de ressource des sites internet. Nous avons de nombreuses données qui sont mesurées et qui n'ont pas été analysées (type des serveurs qui hébergent, catégorie des sites, caractéristiques des sites...). Ces données vont permettre de mieux comprendre les tendances et d'identifier des bonnes pratiques. Le Green Code Lab a pour objectif de prendre en charge ce travail afin de mettre en place un observatoire des consommations internet. WEA en est la première brique.

TRAVAUX CITES

- [12] ADNOuest. (s.d.). *Opération de mesure de l'IT ADEME*. Récupéré sur <http://www.blog-adnouest.org/premiere-operation-collective-en-france-sur-la-mesure-de-la-consommation-de-lit/>
- [10] Ebay. (s.d.). *Tableau de bord Environnemental*. Récupéré sur <http://tech.ebay.com/dashboard>
- [19] *Google Page Speed Best practices*. Récupéré sur https://developers.google.com/speed/docs/best-practices/rules_intro?hl=fr
- [20] *Définition du PUE*. Récupéré sur <http://www.thegreengrid.org/sitecore/content/Global/Content/white-papers/The-Green-Grid-Data-Center-Power-Efficiency-Metrics-PUE-and-DCiE.aspx>
- [1] Linux, R. (s.d.). Récupéré sur <http://fr.wikipedia.org/wiki/Linux>
- [8] LoadStorm. (s.d.). *Test de charge d'un CDN*. Récupéré sur <http://loadstorm.com/2013/08/webperflab-impact-cdn/>
- [7] Randomdrake. (s.d.). *Test de charge de serveur*. Récupéré sur <http://randomdrake.com/2009/07/14/benchmark-results-show-400-to-700-percent-increase-in-server-capabilities-with-apc-and-squid-cache/>
- [9] Reality, D. (s.d.). *PUE*. Récupéré sur <http://www.digitalrealty.com/us/knowledge-center-us/?cat=Research>
- [13] Livre Greeb Code Lab « Green Pattern » - <http://www.greencodelab.fr/Livre>
- [15] Pour l'ADEME par "Bio Intelligence Service" (2011, Juin). Récupéré sur *Etudes d'analyse de cycle de vie de la communication électronique*.
- [14] Netcraft - <http://www.netcraft.com/internet-data-mining/>
- [18] *Sonde Plugwise*. Récupéré sur <http://www.plugwise.com/>
- [16] – HTTP Archive - <http://httparchive.org/>
- [17] *Web Page Test*. Récupéré sur <http://www.webpagetest.org/>
- [21] – GESI - http://gesi.org/ICT_sustainability_studies_and_reports
- [22] <http://www.zdnet.fr/actualites/internet-consommara-autant-d-energie-que-l-humanite-39601840.htm>
- [23] Google Green <http://www.google.com/green/bigpicture/references.html>