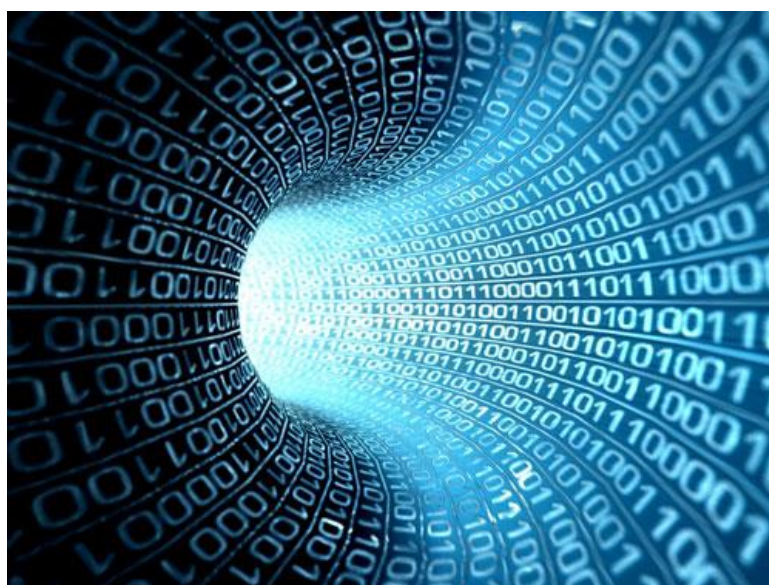


WEB ENERGY ARCHIVE (WEA)

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



Avec le soutien de



Version 2.0
12/02/2014

Rapport Final

info@greencodelab.fr

CONSTATS	3
Obésité du logiciel	4
Obésité du web	4
Absence de donnée sur la consommation	4
Utilisation accrue des technologies Web	5
PERIMETRE DU PROJET	6
Principes du projet	6
Résultats attendus	6
DESCRIPTION DU PROJET	6
Généralité sur le projet	7
Architecture générale	7
Plate-forme matérielle	8
Plate-forme Logicielle	8
S1 – Serveur robot	8
S2 – Serveur de mesure	8
Systèmes d'exploitation et logiciels utilisés pour les expérimentations	9
IMPLEMENTATION	9
Méthodologie de mesure	10
Méthodologie	10
Périmètres de mesure	10
Données de configuration	10
Mesures primaires liées à la plate-forme	10
Mesures primaires liées au site :	11
Méthode de projection des mesures	12
Représentativité des plates-formes	12
Configuration choisie	12
Indicateurs mesurés	12
Types d'indicateurs et données primaires	12
Les indicateurs	13
Empreinte ressources	14
Consommation électrique	15
Coût de la consommation électrique	15
Infrastructure	16
Site web / robot	16
Infrastructure de mesure S2	17
Infrastructure Android	17
Introduction	17
Infrastructure	17
RESULTATS PLATEFORMES PC	19
Panel de mesure	19
Analyse de la mesure des sites	19
Mesures	19
Corrélations	22
Analyse des tendances	27
Analyse de tous les sites	28

Utilisation des tendances pour l'analyse d'un site	28
Consommation des navigateurs	29
Consommation	29
Gestion du cache	30
RESULTATS PLATEFORMES ANDROID.....	33
Panel de mesure	34
Analyse des mesures.....	34
Mesures des sites	34
Gestion du Cache	34
Etude de faisabilité pour l'intégration sous WEA	34
CALCUL DE LA PARTIE SERVEUR.....	35
Méthode de calcul.....	36
Problématique.....	36
Méthode de calcul.....	36
Mise en pratique	36
Hypothèses.....	36
Calculs et analyse.....	37
Cas d'usage.....	37
Analyse critique	39
ANALYSE MACROSCOPIQUE	41
Plateforme PC.....	41
Analyse	41
Gains potentiels.....	43
Plateforme mobile.....	43
Des sites web pas tous égaux devant l'éco-conception.....	45
Une plateforme qui a montré son intérêt.....	45
De nombreuses évolutions possibles pour WEA	46
Observatoire WEA pour sensibiliser et agir.....	46
Description	48
Activités.....	48
TRAVAUX CITES	50
SITES MESURES	52

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

RESUME

L'objectif de WEA est de mesurer la consommation d'énergie des sites web côté utilisateur 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). 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.

WEA est disponible en ligne à l'adresse webenergyarchive.com et a permis de mesurer plus de 500 sites pendant un an. L'analyse des métriques mesurées par WEA permet de donner des tendances sur l'empreinte environnementale des sites Web.

Via les mesures WEA nous pouvons montrer que l'impact d'un site web sur les PC n'est pas le même en fonction du niveau d'éco-conception du site. Il varie de 10 à 200 Wh pour 1000 pages vues. Cet impact est non négligeable si l'on projette la consommation sur le nombre de visiteur des sites. En prenant les 100 sites les plus consultés en France, nous obtenons une consommation d'énergie annuelle de 68 GWh soit la consommation de 25 400 foyers. Nos estimations sur la partie serveur montrent une consommation d'énergie 100 fois moindre pour ces 100 sites. La consommation en terme de données téléchargée est tout aussi importante : 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.

Il existe de plus des différences en termes de consommation de ressources en fonction des navigateurs. Nos mesures montrent une consommation plus importante pour Chrome de 27Wh pour 1000 pages vues par rapport aux navigateurs Internet Explorer et Firefox. On observe plus particulièrement une mauvaise gestion du cache pour tous les navigateurs en termes d'impact sur le PC de l'utilisateur. Une prise en compte de ces critères par les éditeurs de navigateur permettrait probablement d'améliorer la consommation de ressource sur le poste des utilisateurs. En parallèle l'application des bonnes pratiques de mise en cache par les développeurs permettrait de réduire la consommation de ressources sur les serveurs et sur le réseau.

Nous avons de plus montré que le lien entre performance et éco-conception des sites web n'était pas systématique. Par exemple un score de performance Google Page Speed élevé n'implique pas une consommation mémoire et d'énergie basse. Optimiser et mesurer la consommation des ressources consommées en plus de la prise en compte des critères de performance permettraient de rapprocher les deux domaines.

Notre constat est qu'il est urgent de mettre en place des bonnes pratiques (Chez l'utilisateur, les développeurs, les hébergeurs mais aussi les éditeurs de navigateur) si l'on veut maîtriser l'obésité du 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.

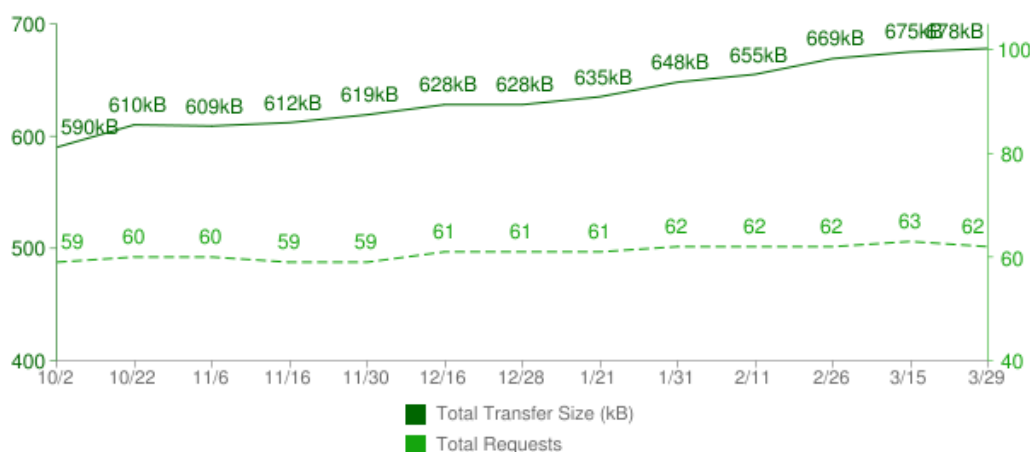
Obésité du web

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.

Le projet *http archive* enregistre sur la période octobre 2012 – mars 2013 la taille et la performance des sites web. Le constat de cette obésité est confirmé sur des milliers de sites : +13 % d'augmentation de la taille des requêtes.

Total Transfer Size & Total Requests



Absence de donnée sur la consommation

Il existe peu d'études sur la consommation d'énergie directe et induite des sites web. L'explosion des centres de données et des problèmes énergétiques associés ont créé ces dernières années des initiatives (Green Grid, Code of Conduct for Data Centres, indicateur de performance énergétique des data-centre PUE, projets européens...). Cependant le problème est traité de façon macroscopique au niveau des centres de données. L'analyse de l'impact par site et par clic côté client n'est pas traitée.

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. Par ailleurs, l'empreinte écologique des sites web se concentre côté client (Nous le montrerons plus loin dans le rapport). La consommation côté serveur et réseaux a été approchée par une estimation énergétique reposant sur la taille des paquets de données.

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 attendus

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 est 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.

Dans le cadre d'une labélisation ou notation environnementale des sites web, cet indice de consommation international pourrait être utilisé comme critère d'évaluation (au même titre que les classes A, B... de l'étiquette Energie européenne).

A RETENIR

Le projet WEA a été initié pour identifier les tendances de consommation des ressources des sites internet. Le périmètre initial se concentre sur le partie utilisateur (client) mais sera déployé sur les autres parties (usage du réseau et des serveurs, énergie grise...).

DESCRIPTION DU PROJET

Généralité sur le projet

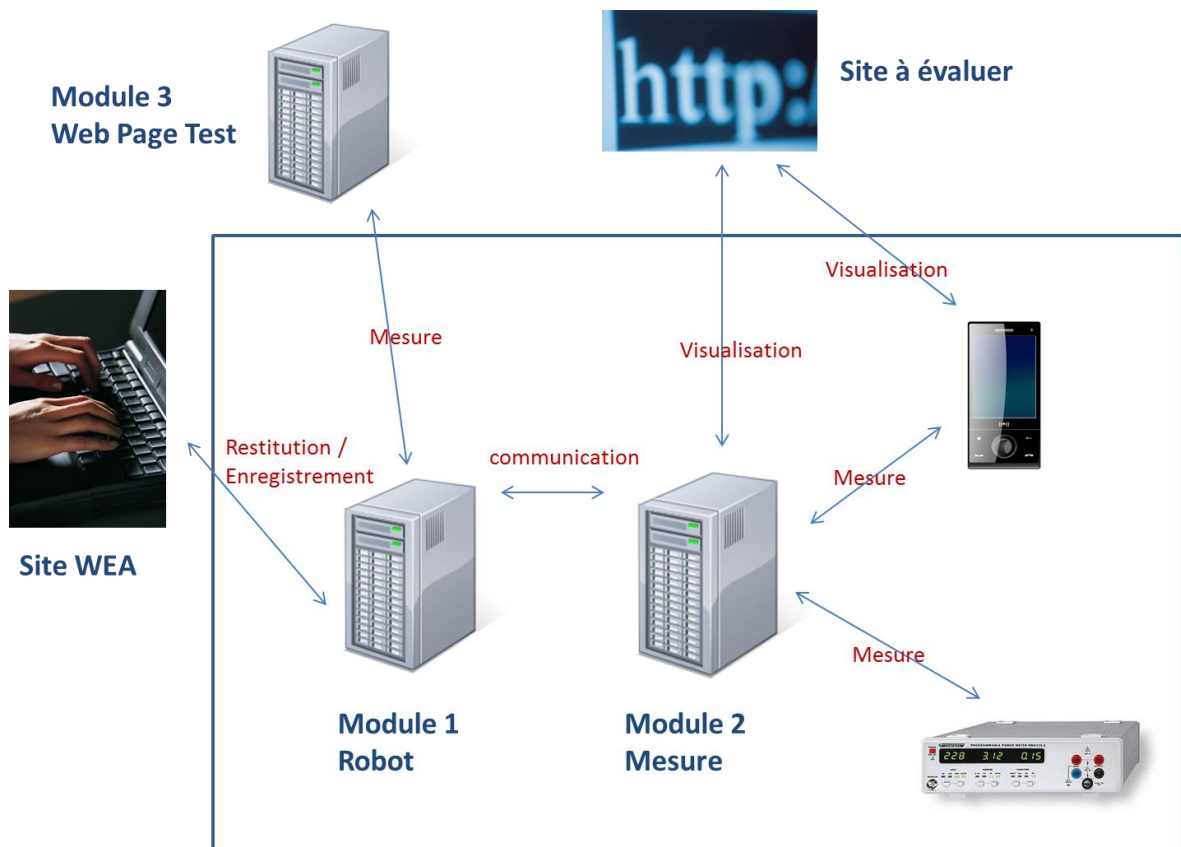
L'objectif général du projet est de mesurer la consommation d'énergie des sites Web et principalement de mesurer les consommations dues à la page d'accueil des sites pour en faire une mesure statistique avec un protocole de mesure stable qui permette une comparaison dans le temps. Certaines mesures simplificatrices ont été prises dans un premier temps dans le projet : en effet, la partie serveur a été estimé contrairement à la partie cliente qui a été mesurée de manière plus fine.

La mesure de la partie client porte sur l'intégration de plusieurs briques logicielles existantes en Open Source en y intégrant des développements complémentaires. Les travaux que nous avons réalisés sur les différents outils Open Source seront reversés à la communauté pour permettre de partager notre connaissance pour des travaux ultérieurs par cette communauté.

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 intègre la partie visible du site WEA.
- 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 recensés dans le projet.
- 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.



Le module 1 est basé sur la solution ouverte « HTTP archive » [16]. Il a été adapté pour permettre l'interface avec le module 2.

Le module 2 est développé totalement. Un wattmètre a été utilisé pour la mesure physique ainsi qu'une librairie spécifique pour la modélisation du comportement énergétique

La solution Web Page Test [17] est utilisée pour l'acquisition des données de performance.

Plate-forme matérielle

S1 : Serveur Robot et présentation du site WEA public (accueil Module 1).

S2 : Serveur (ou station) de mesure (Accueil Module 2).

Les matériels sur lesquels peuvent être réalisées les mesures sont :

- PC fixe,
- PC portable,
- ultra portable,
- tablette,
- smartphone.

Plate-forme Logicielle

S1 – Serveur robot

HTTP ARCHIVE

C'est une application Web qui recueille des données inhérentes à la page générée côté client et offre des outils d'analyse de ces données dans le temps.

INTERFACE GRAPHIQUE

En plus des données de http Archive, les données de consommation et les données corrélées ont été ajoutées.

INTEGRATION S2

Les données de S2 sont mixées à la base de données http Archive

INDICATEURS

Le traitement des données permet de proposer des indicateurs et des seuils associés afin de positionner l'impact du site par rapport à des critères définis. Un travail a été fait afin de préparer ces indicateurs pour une potentielle labélisation des sites.

MODELISATION DE LA CONSOMMATION SERVEUR

A partir des données mesurées et de données fournies lors de l'enregistrement du site (technologie, type d'hébergement, localisation...), une estimation de la consommation induite par la visualisation d'une page est calculée.

S2 – Serveur de mesure

MODELE ENERGETIQUE

Il s'agit d'une librairie permettant de mesurer la consommation d'énergie en fonction de certaines données (charge informatique du processeur, accès disques, etc.). Le choix du module s'est portée sur le module OpenSource Power API développé par l'INRIA.

MODULE WATTMETRE

Ce module n'est utilisé que pour la validation des résultats du modèle énergétique. Les mesures proposées dans ce rapport n'intègre en effet pas ces données mais les données du modèle énergétique.

TRAITEMENT

Cette partie traite les mesures brutes issues du modèle énergétique ou des modules wattmètres. Le module détecte un profil de consommation typique (idle, max...).

A RETENIR

La plateforme WEA a été conçue pour être modulaire et adaptive. L'architecture du système permet en effet dans le futur d'intégrer de nouvelles plates-formes et de nouveaux navigateurs.

BASE DE DONNEES

La base de données permet de stocker les mesures avant rapatriement par le serveur principal.

MOBILE

Une sonde logicielle a été implémentée sur le mobile afin de récupérer les mesures des sondes du mobile (utilisation batterie, courant...). Le rapatriement sur le serveur de mesure n'a pas été réalisé dans ce projet.

Systèmes d'exploitation et logiciels utilisés pour les expérimentations

Les systèmes d'exploitation et logiciels utilisés sur les architectures techniques de type PC fixe ou nomade sont :

- Windows 7 et XP
- les navigateurs Firefox, Chrome et Internet Explorer dans leur dernière version avec la mesure cache vide et cache plein.

Il est à noter que le protocole intègre une unité de mesure pour l'indice permettant de faire évoluer les versions des systèmes d'exploitation ou la prise en compte de nouveaux (Ubuntu, Android...) mais aussi vers de nouvelles versions de navigateurs.

IMPLEMENTATION

Méthodologie de mesure

Méthodologie

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

Périmètres de mesure

La mesure d'un site est réalisée sur différents environnements. Voici les paramètres variants :

- Plate-forme matérielles
 - Processeur Intel P4HT
 - Processeur Intel Core Duo
- Systèmes d'exploitation :
 - Windows XP
 - Windows Seven
- Navigateurs :
 - Google Chrome
 - Mozilla Firefox
 - Microsoft Internet Explorer

Données de configuration

Ces données font partie de la configuration de la plate-forme de mesure :

- **Temps de mesure (T_{Mes} en seconde) :** Il s'agit du temps de mesure pour un site. La période de mesure globale (à partir de la 1^{ère} requête) est 40 secondes.

Mesures primaires liées à la plate-forme

Les mesures suivantes sont liées à la plate-forme et utilisées par les mesures primaires liées au site ou aux indicateurs :

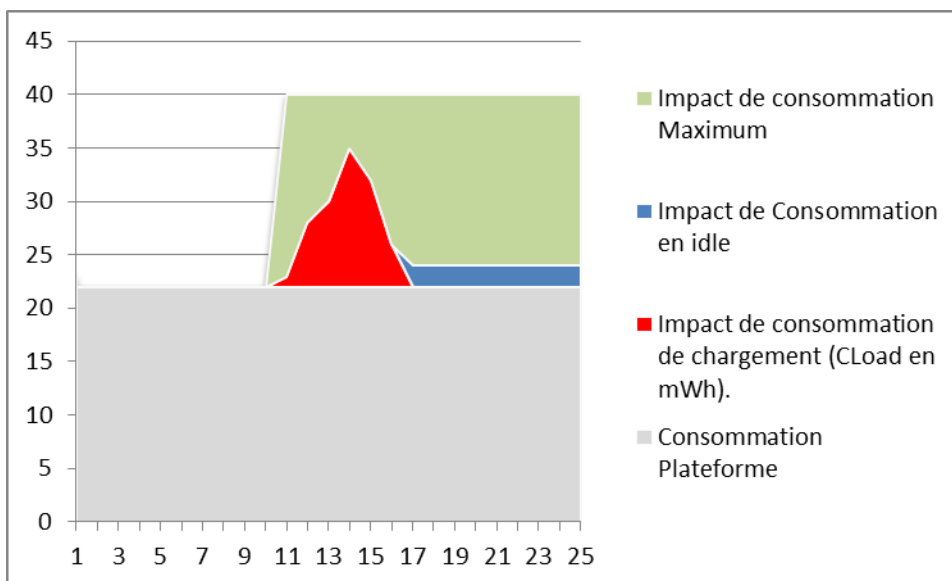
- **Puissance idle de la plate-forme (PIdle en Watt).** Cette mesure est égale entre chaque mesure. Elle est utilisée pour détecter la stabilisation de la plate-forme avant chaque mesure d'un site. Elle ne varie pas dans le temps s'il n'y a pas d'évolutions logicielles ou matérielles.

Mesures primaires liées au site :

On effectue les mesures suivantes :

- **Impact de consommation de chargement (CLoad en mWh).** Le calcul se fait en intégrant la puissance demandée par le logiciel (puissance mesurée moins la puissance idle) pendant le temps de chargement.
- **La puissance maximale lors du chargement (PMax en Watt)** Puissance maximale détectée lors du chargement du site.
- **Temps de chargement (TLoad en seconde) :** On considère la période définie entre l'émission de la première requête et la fin du chargement du site.
- **Impact de Consommation en idle (CIdle en mWh).** Il s'agit de la consommation demandée par le logiciel.).
- **Impact de Consommation total (CMes en mWh) :** Impact de la consommation sur la totalité de la période (CLoad + CIdle)

Sur le schéma suivant CMes est la surface rouge (Cload) + bleu (Cidle).



Méthode de projection des mesures

Représentativité des plates-formes

Afin d'être représentatif sur la consommation des internautes, il faut mettre en place une méthodologie qui intègre les différentes parts de marché.

Système d'exploitation	Windows 2000	Windows XP	Windows Vista	Windows Seven	Linux	MacOS X	iOs	Android	Autre
Parts de marché	0,4%	21%	6%	40%	2%	9%	9%	5%	5%

Sources [1] [2] [3] [4] [5] [6]

Dans un premier temps, nous avons choisi de prendre les coefficients de pondération pour la mesure :

- Windows XP : 1
- Windows Seven : 3

Configuration choisie

La méthodologie de mesure choisie se focalise sur l'impact de la couche logicielle et du comportement de certains composants (CPU et mémoire). Le choix des plates-formes peut donc se focaliser sur les processeurs. En effet, nous ne prenons pas en compte la consommation par exemple de l'écran ou de potentiel périphérique.

Nous avons donc choisi les configurations suivantes :

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

Les indicateurs choisis seront donc calculés avec la formule suivante (prenant en compte les parts de marchés)

$$\text{Calcul} = \text{Mesure Conf1} + 3 * \text{Mesure Conf 2}$$

Avec Mesure = (Mesure IE avec cache + Mesure IE sans cache +

Mesure Firefox avec cache + Mesure Firefox sans cache +

Mesure Chrome avec cache + Mesure Chrome sans cache)/6 ;

Pour la suite du projet, un observatoire pourra être mis en place avec mise à jour au fil des nouveautés impactantes (hard : nouveaux processeurs par ex., soft : nouvelles versions de navigateurs, voire nouveaux navigateurs)

Indicateurs mesurés

Types d'indicateurs et données primaires

TYPE D'INDICATEURS

Plusieurs types d'indicateurs sont fournis à l'utilisateur du service :

- Technique
- Economique

- Environnemental

Ces indicateurs couvrent les principales phases du cycle de vie du site web :

- Utilisation / exploitation
- Fin de vie (essentiellement des terminaux des internautes)

Ces indicateurs sont de deux niveaux de granularité :

- primaires, construits à partir des mesures physiques réalisées à l'aide :
 - du service Web Page Test
 - de la librairie PowerAPI
- secondaires, construits à partir :
 - de sources de données externes (facteurs d'émission de GES de l'ADEME par exemple)
 - d'indications fournies par l'utilisateur du service (trafic annuel en nombre de pages par exemple).

DONNEES PRIMAIRES UTILISEES POUR CONSTRUIRE LES INDICATEURS

Web Page Test

- Taille des données transférées : xx Ko (somme des ressources transférées)

Sonde WEA

- consommation de mémoire vive (**Mem**) : xx Mo
 - Nous avons pris la donnée Memory Committed et Memory Physical sous Windows pour calculer cette donnée.

PowerAPI

- puissance CPU : Watt
- consommation électrique : xx mWh sur xx secondes

Externes

- facteur d'émission d'un kWh électrique
 - France: 0,09 kg eqCO₂ / kWh él. (Source AIE et DGEC)
 - Voir en annexe pour les autres FE
- Energie primaire : kWh électrique * 2,58 (Source AIE et DGEC)
- prix du kWh : 0,12 euros / kWh él. (EDF)

Données utilisateur

- Type de site : blog, actualité, service interactif, multimédia, e-commerce, etc.
- Trafic : xx pages vues par mois
- Pays où le site est hébergé (pour retrouver le prix du kWh électrique et la charge GES associée)

Les indicateurs

L'unité fonctionnelle retenue pour toutes les mesures physiques est « téléchargement puis affichage de la page [URL] pendant 40 secondes ».

Les indicateurs sont tous mesurés et calculés exactement de la même façon quels que soient la catégorie et le trafic annuel du site.

Les indicateurs proposés par WEA mettent en évidence les impacts sur les phases d'utilisation et sur le reste du cycle de vie (notamment fabrication et fin de vie).

Indicateurs sur la phase d'utilisation

- 2.1 - Consommation électrique (Implémenté)
- 2.2 - Consommation énergie primaire (Implémenté)
- 3 - Facture électrique (Implémenté)
- 4 - Emission de GES (Pour version ultérieure)

Indicateurs sur les phases de fabrication et de fin de vie

- 1 - Empreinte ressources (Implémenté)
- 5 - Contribution à l'obsolescence (Pour version ultérieure)
- 6 - Emissions évitables du scope 3 (Pour version ultérieure)

Empreinte ressources

L'empreinte ressources est la puissance informatique nécessaire pour faire fonctionner le site web côté client. Cette empreinte se caractérise essentiellement par le nombre de cycles processeurs, la quantité de mémoire, et la bande passante consommés. L'espace disque n'est pas significatif dans le cadre d'un site web.

Cette empreinte ressources est cruciale car c'est elle qui détermine la contribution à l'accélération de l'obsolescence du terminal de l'internaute. C'est aussi cette empreinte ressources qui détermine la consommation électrique et les émissions de gaz à effet de serre associées sur la phase d'utilisation.

Enfin, la mesure de l'empreinte ressources permet de dissocier la puissance nécessaire à l'affichage d'une page, de la consommation électrique résultante. On dissocie ainsi dans le temps les gains apportés par l'éco-conception du site, des gains apportés par les progrès réalisés par les fabricants en termes d'efficacité énergétique de leurs terminaux.

Type	L'empreinte ressources est un indicateur arbitraire (qui n'a pas de signification dans la « vraie vie ») qui permettra de comparer : - la performance d'un même site dans le temps (progrès), - la performance du site par rapport aux autres sites de même catégorie (positionnement).
Données primaires	Puissance CPU : PowerAPI Mémoire vive : WEA Taille de transfert total Web Page Test
Calcul	Conso. CPU (mWh) * Mémoire vive (Mo) * Total Transfert size (kB) Ce calcul est normalisé pour obtenir une valeur entre 1 et 100
Unité	échelle de 1 à 100
Affichage	Exemple : 30 sur 100, empreinte ressources faible

	70 sur 100, empreinte ressources forte
Interprétation de l'indicateur	Plus la valeur est faible, plus le site est performant un site web ayant une empreinte ressources importante créera potentiellement de l'exclusion (fracture numérique) en : obligeant l'utilisateur du site à changer d'ordinateur pour pouvoir se connecter au service en ligne en question en fournissant un service dégradé aux internautes disposant d'un ordinateur peu puissant.

Consommation électrique

La consommation électrique d'un site se traduit essentiellement par deux impacts environnementaux : l'épuisement des ressources non renouvelables (pétrole, uranium, etc.) nécessaires à la production des kWh électriques consommés ; et les gaz à effet de serre émis lors de la transformation de l'énergie primaire en électricité.

Type	La consommation électrique est un indicateur « physique » qui permet de comparer : - la performance d'un même site dans le temps (progrès), - la performance du site par rapport aux autres sites de même catégorie (positionnement).
Données primaires	PowerAPI
Calcul	Intégration de la puissance mesurée
Unité	xx Wh pour 1 page affichée
Affichage	valeur min < xx Wh pour 1000 pages affichées < valeur max avec - valeur min : sur l'ensemble des sites mesurés - valeur max : sur l'ensemble des sites mesurés
Interprétation de l'indicateur	Plus la valeur est faible, plus le site est performant Plus le nombre de Wh est faible et plus l'empreinte écologique est réduite dans la mesure où : la contribution à l'épuisement des sources primaires non renouvelables d'énergie est d'autant plus faible que la consommation du site est faible, les émissions de GES sont d'autant plus faibles que la consommation électrique est faible (quelle que soit la source primaire utilisée).

Coût de la consommation électrique

Il est important de rappeler aux utilisateurs de WEA que l'éco-conception de leur site web permet à leurs clients / usagers de réaliser des économies financières.

Type	Indicateur économique
------	-----------------------

Données primaires	- Indicateur consommation électrique) - Coût du kWh électrique : 0,12 euros / kWh (EDF)
Calcul	Indicateur consommation * coût du kWh électrique
Unité	xx euros pour 1000 pages affichées
Affichage	valeur min < xx euros pour 1K pages < valeur max avec - valeur min : sur l'ensemble des sites mesurés - valeur max : sur l'ensemble des sites mesurés
Interprétation de l'indicateur	Plus la valeur est faible, plus le site est performant Plus le nombre mWh est faible et plus l'empreinte écologique est réduite dans la mesure où : la contribution à l'épuisement des sources primaires non renouvelables d'énergie est d'autant plus faible que la consommation du site est faible, les émissions de GES sont d'autant plus faibles que la consommation électrique est faible (quelle que soit la source primaire utilisée).

Une notation de site a été choisie avec 7 classes (de A à G).

La méthode de calcul est la suivante : division par 7 classes équivalentes en prenant un min et un max. Ces seuils sont dynamiques et évoluent en fonction des mesures du mois précédents.

Par exemple, si le min est 4 Wh et le max 280 Wh :

A < 20 Wh

20 Wh < B < 27 Wh

27 Wh < C < 40 Wh

40 Wh < D < 65 Wh

65 Wh < E < 100 Wh

100 Wh < F < 160 Wh

G > 160 Wh

L'index d'efficacité énergétique (EEI) adimensionnel sera utilisé ultérieurement dans le projet.

Infrastructure

Site web / robot

http Archive a été récupéré et intégré à Symfony (<http://symfony.com/>). Ce Framework va permettre une meilleure évolution de WEA.

Un séquenceur permet actuellement la demande des tests tous les jours (à 0h00).

Les demandes de tests sont envoyées aux serveurs S2 ainsi qu'à Web Page Test. Le choix actuellement n'est pas d'héberger WPT (**Prévu si la charge le nécessite**).

Infrastructure de mesure S2

La partie S2 de mesure a été développée. Elle intègre POWER API avec les sondes mémoires et CPU. La possibilité de mesure physique est de la même manière intégrée (mais non utilisée en production).

Voici la liste des serveurs

- 4 Serveur Conf 1
- 5 Serveur Conf 2

Infrastructure Android

Introduction

Une étude préliminaire a été effectuée afin de préparer l'intégration des plateformes Mobile. En effet, bien que l'architecture de WEA ait été prévue pour cette intégration, de nombreuses questions se posent concernant la mesure des sites sous mobile. Une campagne de mesure a donc été effectuée pour répondre à ces questions et pour identifier les tendances de consommation des smartphones.

Infrastructure

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 :

- Tension de la batterie
- Intensité consommée

Cette mesure est effectuée toutes les 500 ms et on multiplie les deux valeurs pour avoir la puissance consommée. La puissance est intégrée pour obtenir la consommation d'énergie.

Le lancement des sites et la mesure est automatisée et réalisée depuis une plateforme PC à l'aide d'un script PowerShell et de l'interface de communication Android ADB.

Afin de ne pas fausser la mesure, la communication se déroule en WIFI et le câble de communication est débranché. La batterie est donc en état de déchargement.

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

- Ré-itération de la mesure (Cache plein)

A RETENIR

Les indicateurs et les métriques actuelles sont basées sur un usage estimé des sites internet ainsi que sur des types de plates-formes les plus répandues. Deux approches complémentaires pourront être appliquées par la suite : Figurer ces hypothèses pour suivre l'évolution de l'impact des logiciels par rapport à 2013 et faire évoluer ces hypothèses pour suivre les tendances réelles.

RESULTATS PLATES-FORMES PC

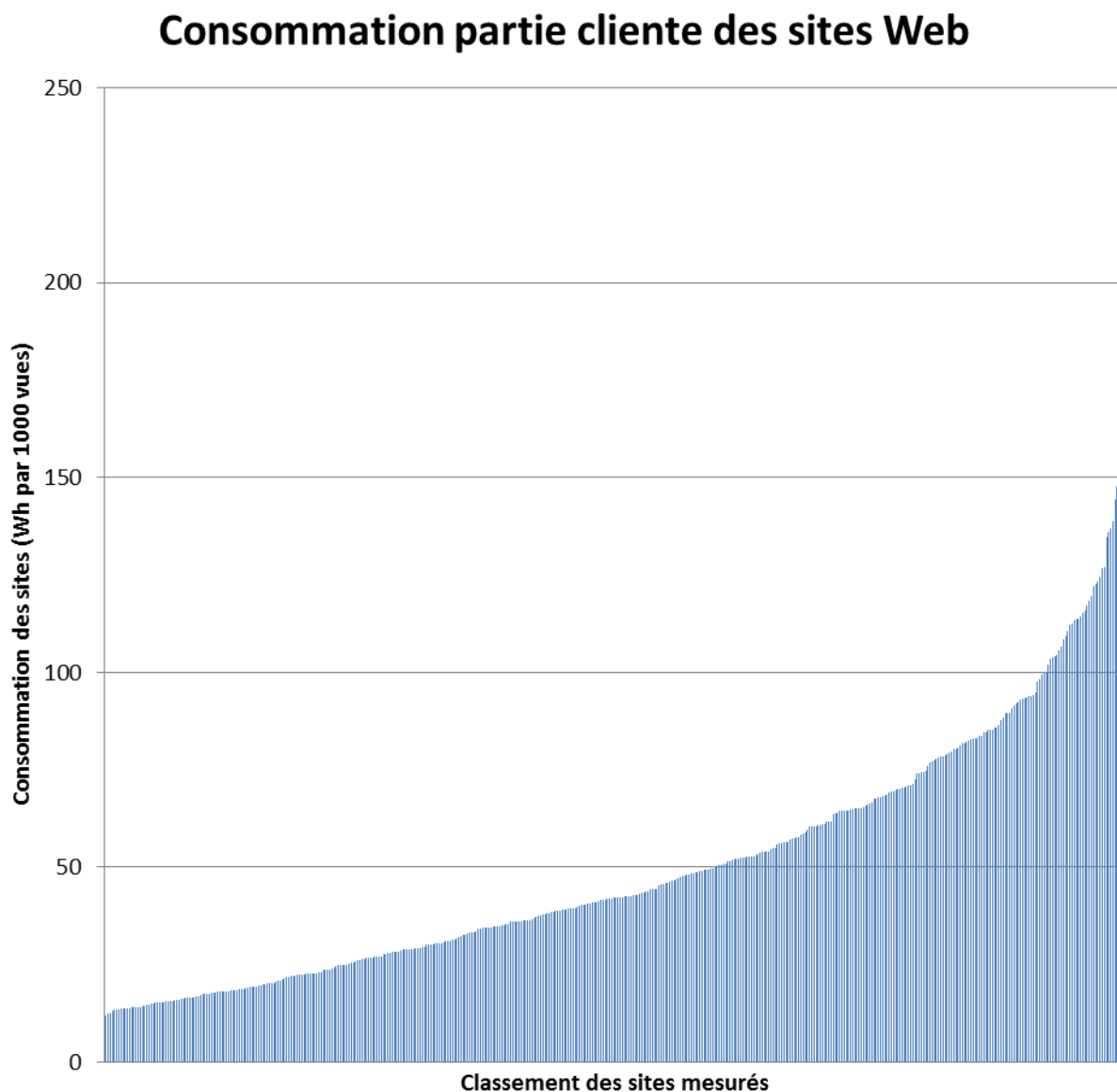
Panel de mesure

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

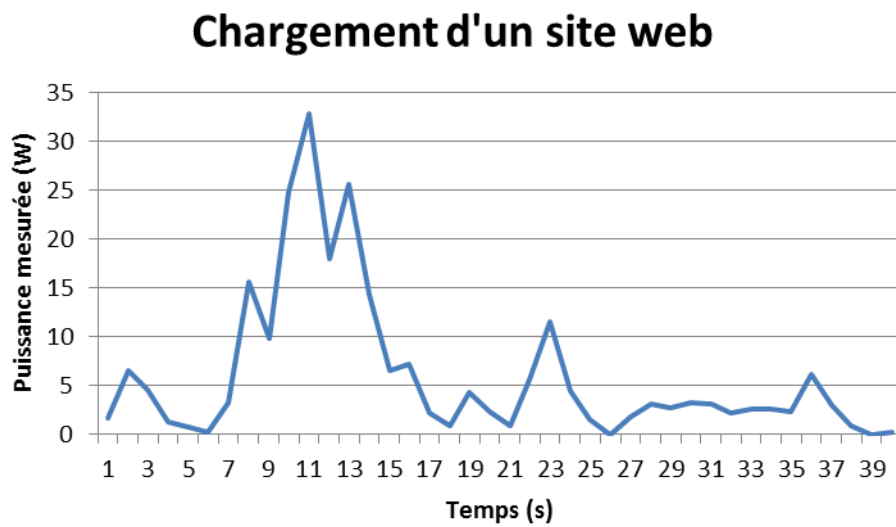
Mesures

La répartition de l'énergie mesurée est la suivante

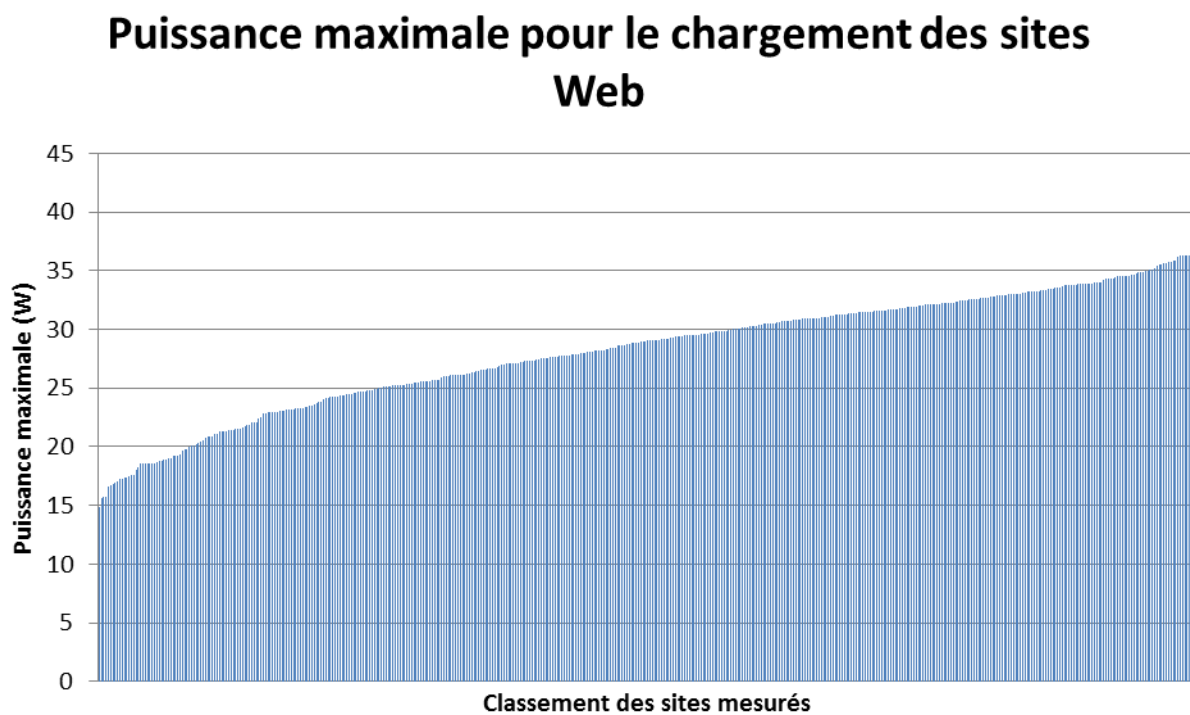


La moyenne est de 50,1 Wh. La mediane est de 42,2 Wh.

La courbe de puissance lors de la mesure est la suivante (ibm.com) :



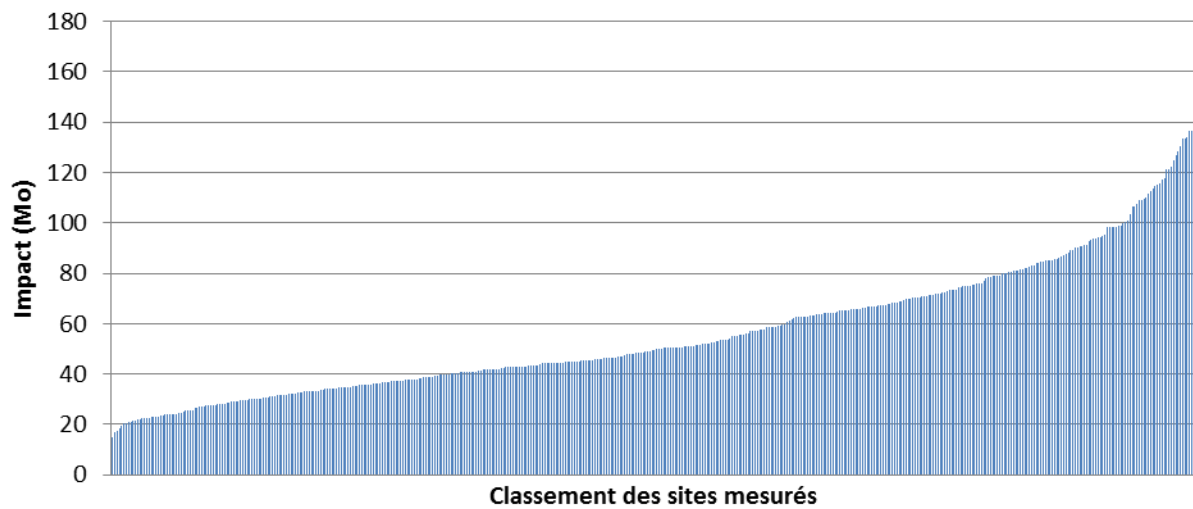
La répartition des sites en fonction de la puissance maximale appelée est la suivante :



La moyenne est 29,24, la médiane de 29,7 et l'écart-type de 4.

La répartition des sites en fonction de la consommation mémoire est la suivante :

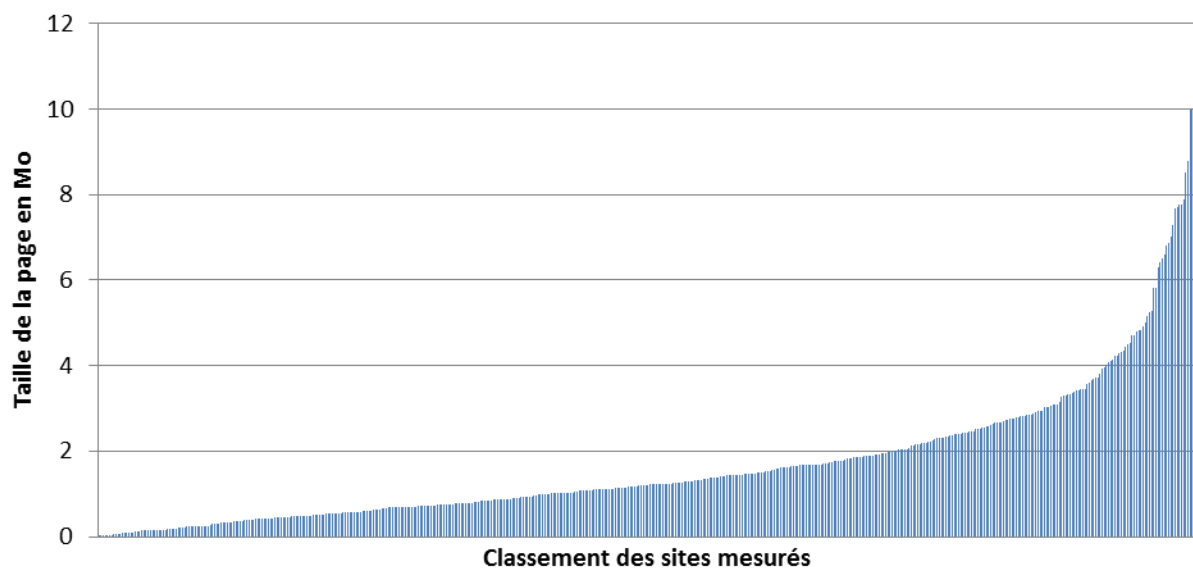
Impact de consommation mémoire vive pour le chargement des sites



La moyenne est de 57,8 Mo et la médiane de 50,3 Mo.

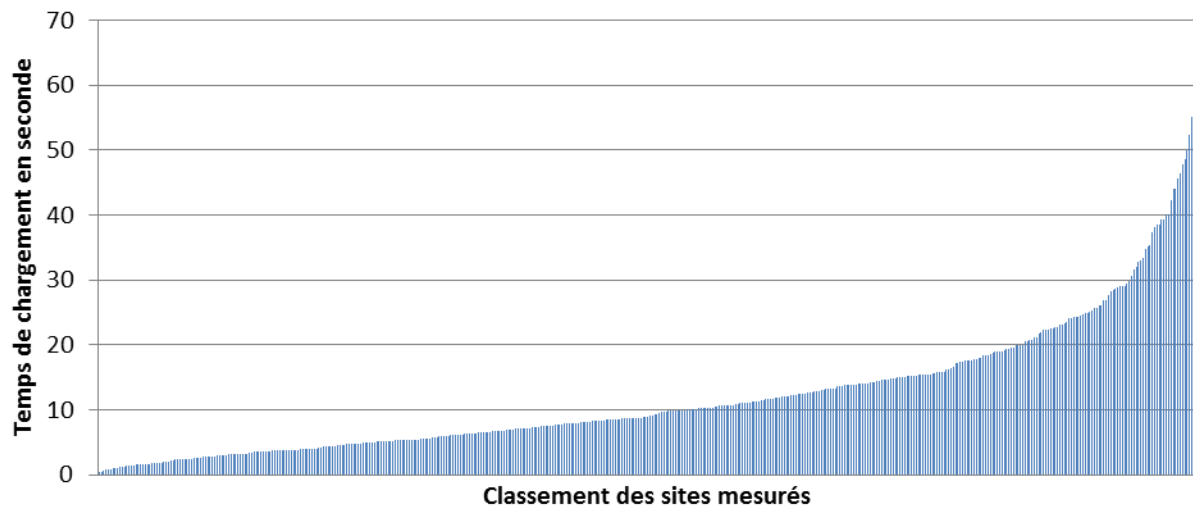
La taille des pages est en moyenne de 1,7 Mo :

Tailles des pages en Mo



Le temps de chargement moyen est de 12s :

Temps de chargement des sites



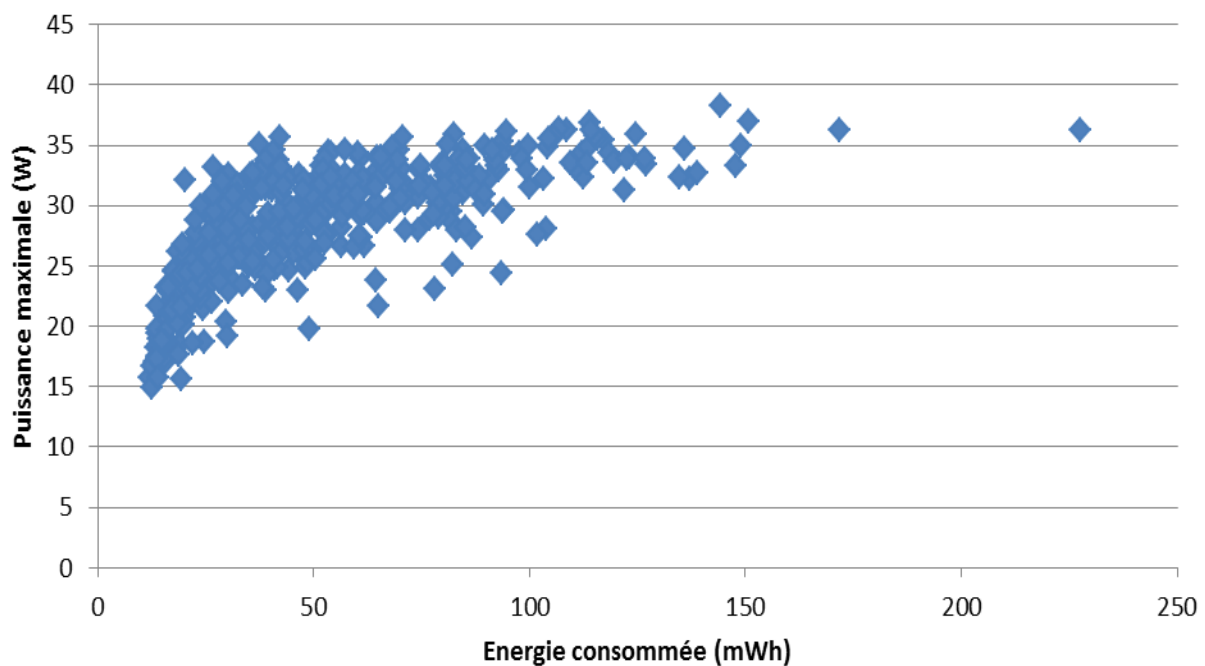
On observe que 15 sites ont un temps de chargement supérieur au temps de 40 secondes de la mesure de la consommation. Il serait nécessaire d'adapter la méthodologie de mesure (augmenter les 40s à 60s).

Corrélations

Energie CMes Vs Puissance Pmax

La relation entre la puissance et énergie est la suivante :

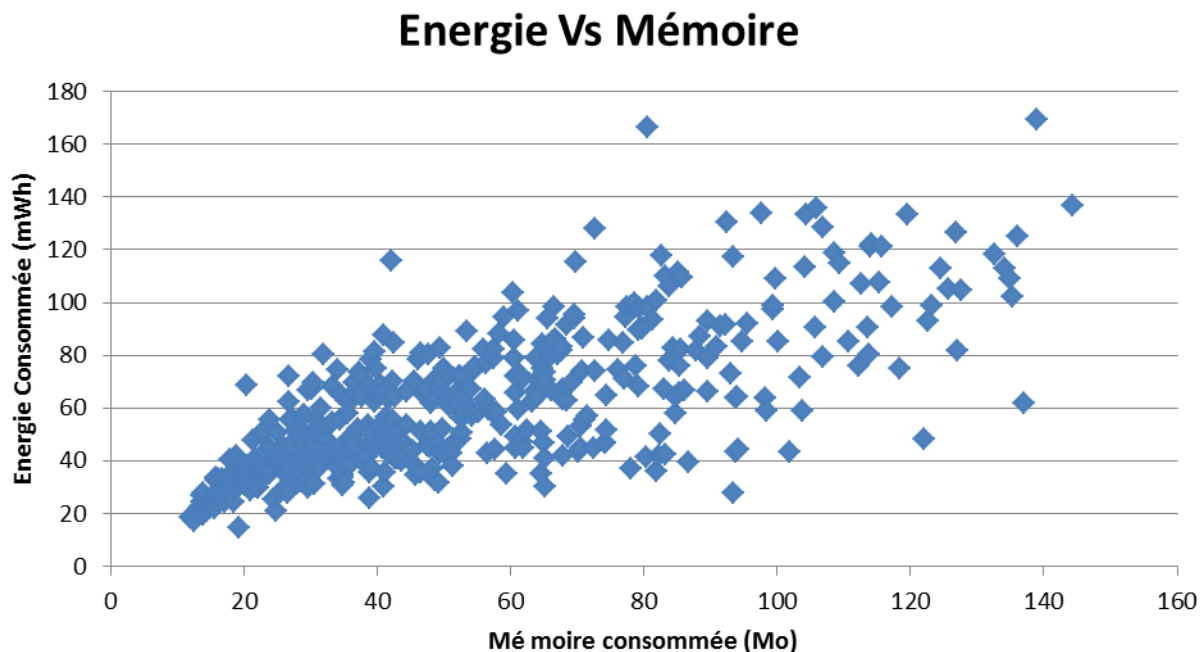
Energie CMes Vs Puissance Pmax



On observe une saturation de la puissance maximale à 35 W. Ceci s'explique par le fait que le PC a atteint sa puissance maximale lors du chargement de la page. Lorsque ce site le charge et que la puissance maximale est maintenu, la consommation augmente fortement.

Energie Cmes Vs Mémoire Mem

La relation entre l'énergie et la mémoire consommée est la suivante :

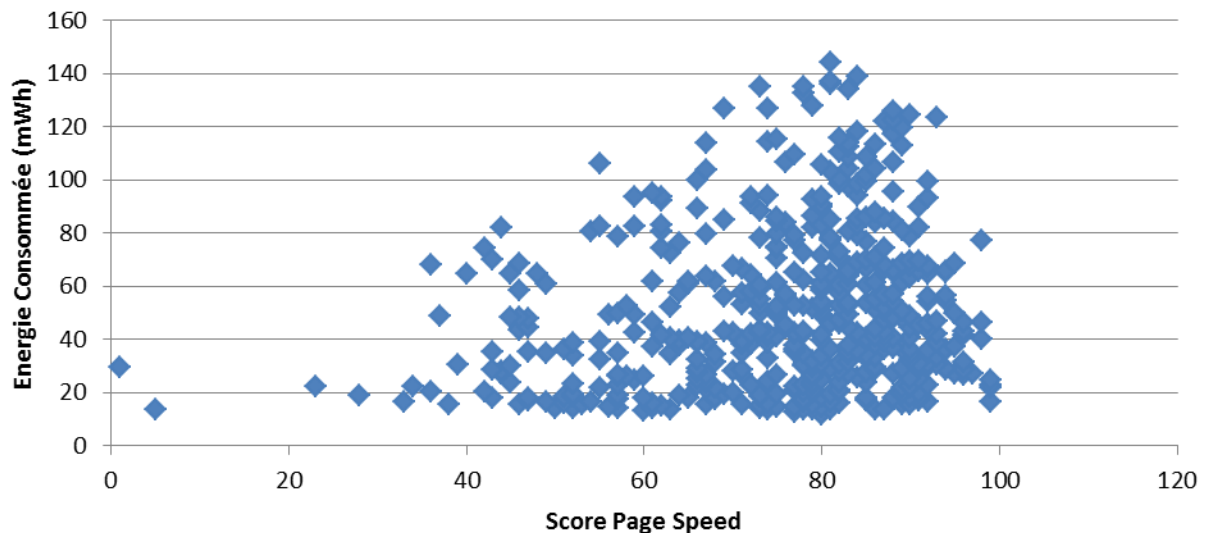


Le coefficient de corrélation est de 0.77. La relation entre l'énergie consommée et la mémoire est donc forte.

Energie Cmes Vs Performance

Google Page Speed est un référentiel de bonnes pratiques de performance des pages web [19] Voir les bonnes pratiques : https://developers.google.com/speed/docs/best-practices/rules_intro?hl=fr L'évaluation de la page donne un score sur 100. Plus le score est haut, plus la page est performante selon le référentiel Google. La répartition des mesures de consommation d'énergie des sites mesurés en fonction du score Google Page Speed est le suivant :

Energie Consommée Vs Score Google Page Speed



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 :

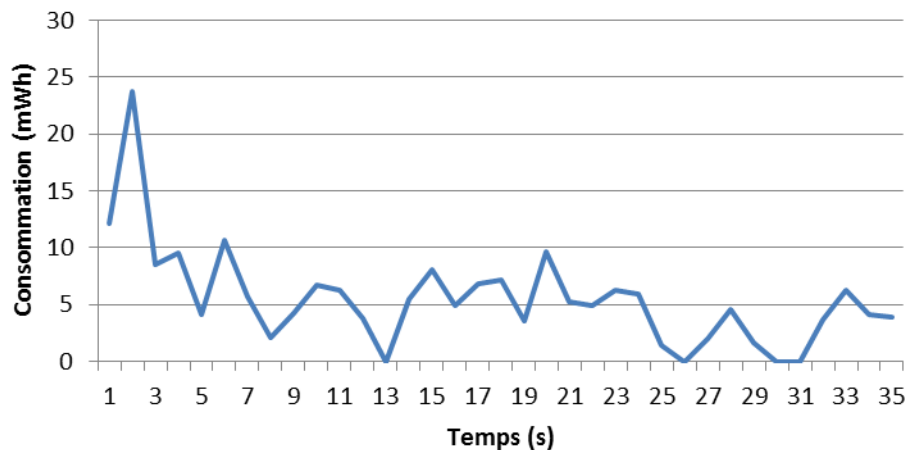
“Defer loading of JavaScript : Deferring loading of JavaScript functions that are not called at startup reduces the initial download size, allowing other resources to be downloaded in parallel, and speeding up execution and rendering time.”

Cette bonne pratique va permettre que la page soit affichée rapidement. Cependant, une fois la page affichée, les scripts vont continuer à s'exécuter en arrière-plan. La consommation de ressource va donc être non nulle, même si la page est affichée.

Une autre pratique est le déclenchement de scripts qui consomment des ressources en arrière-plan (par exemple des timers pour afficher des diaporamas d'image).

Par exemple pour la page laposte.fr, on a un temps de chargement de 6s. Cependant quand on regarde l'évolution de la consommation sur le 40s de mesure, nous avons une consommation non négligeable après l'affichage de la page.

Chargement laposte.fr



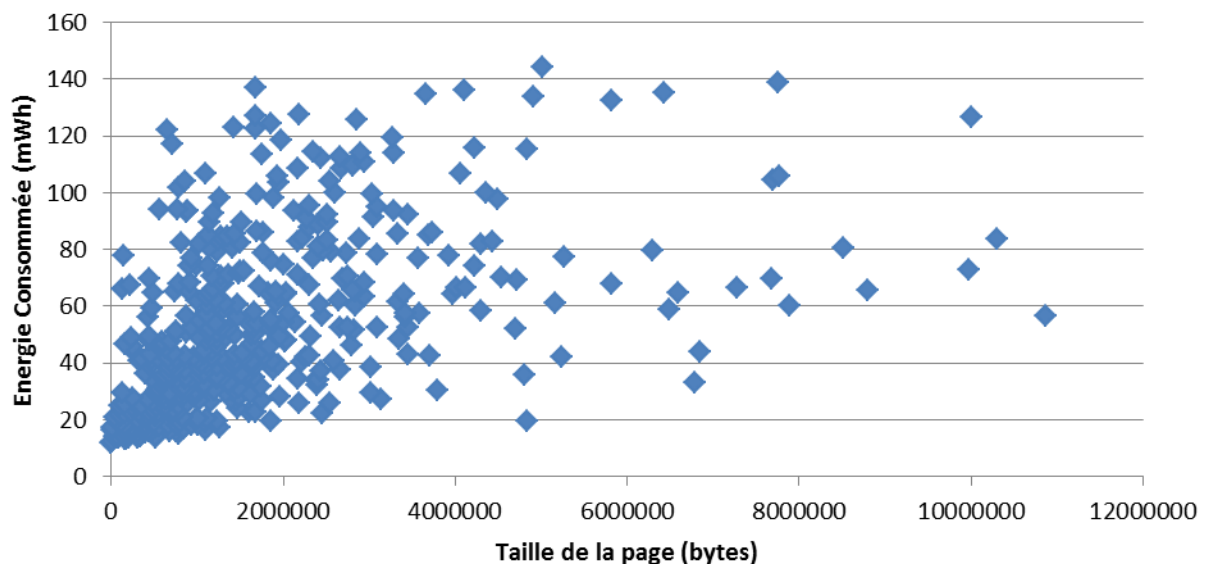
Un profiling de la page montre un déclenchement de timer toutes les 5 secondes. Ceci est confirmé dans le fichier jquery.autoimage.js par le code suivant :

```
aim.timer=setInterval(function(){onTimer(aim);},TIMERINTERVAL);
```

Energie CMes Vs Poids de la page

La répartition des sites en fonction du poids de la page (en octets téléchargés) et en fonction de l'énergie consommée est la suivante.

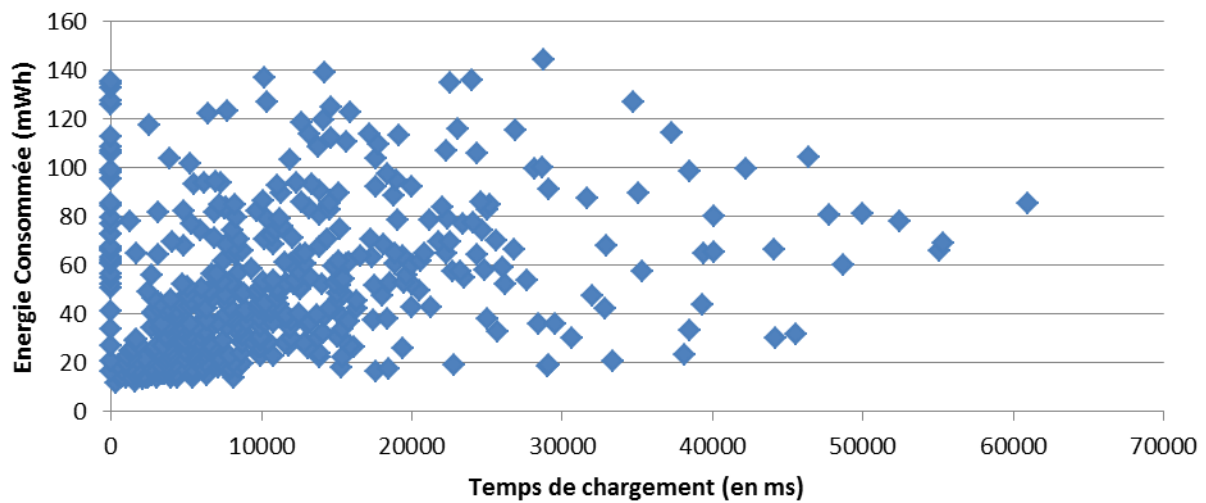
Energie consommé Vs Taille de la page



Le coefficient de corrélation de cette relation est de 0,5. Nous ne pouvons donc pas conclure sur la corrélation entre la taille de la page et la consommation de la page.

Temps de chargement

Energie Consommé Vs Temps de chargement

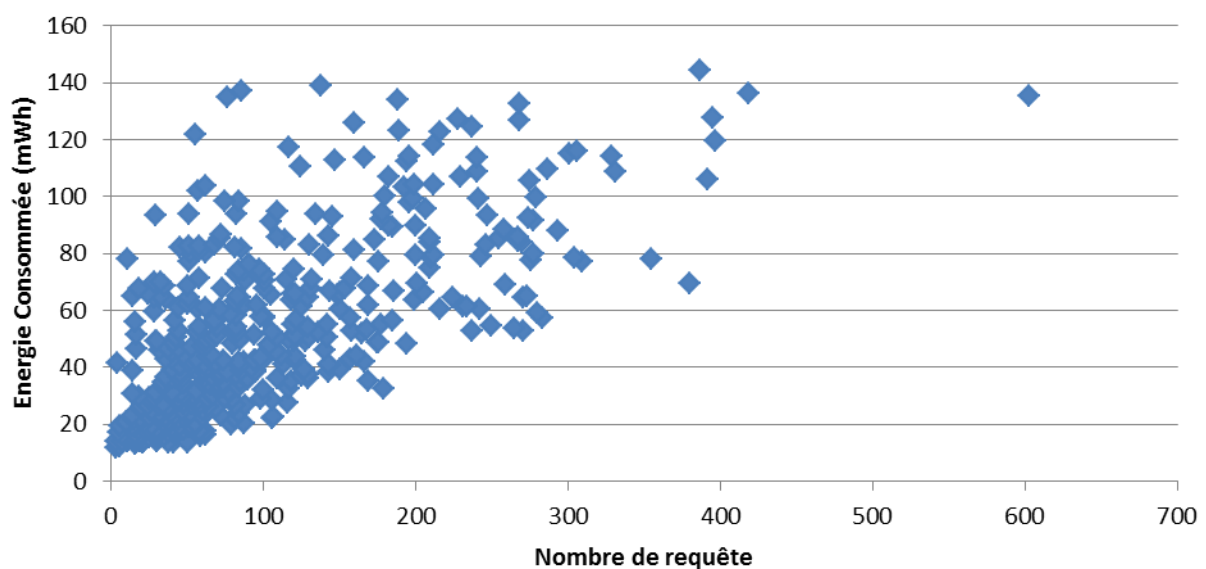


Le coefficient de corrélation est de 0.33. Il n'y a pas de corrélation prouvée.

Energie Vs Nombre de requêtes

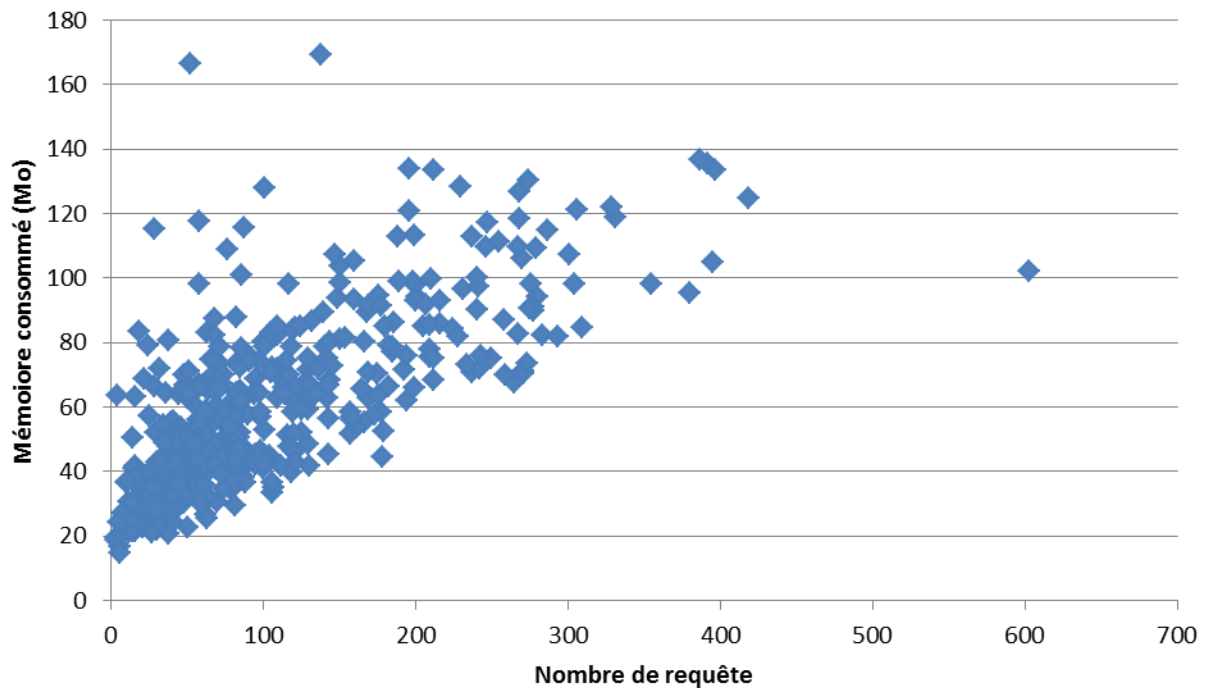
Quand on regarde la corrélation entre l'énergie consommée et le nombre de requêtes, on trouve un coefficient de 0,69. La corrélation est donc assez forte.

Energie Consommée Vs Nombre de requête



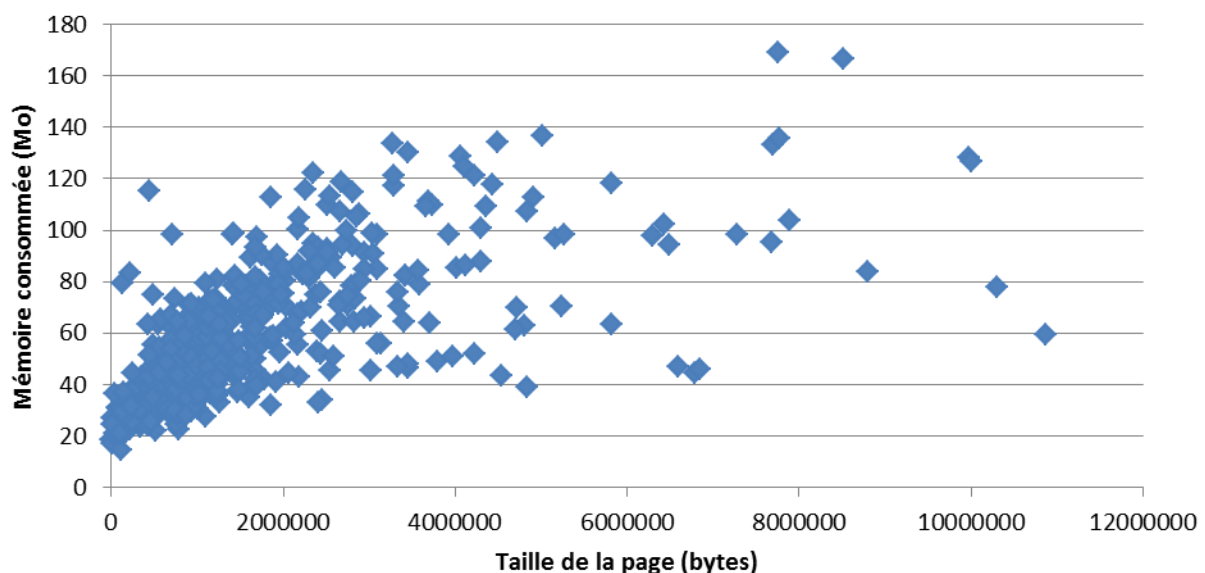
Quand on regarde la corrélation entre la mémoire consommée et le nombre de requêtes on a un coefficient de 0.73.

Impact Mémoire Vive Vs Nombre de requête



Le coefficient de corrélation entre la taille de la page et la mémoire consommée est de 0.66. La corrélation est donc importante.

Impact Mémoire Vive Vs Taille de la page



Analyse des corrélations

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).

Analyse des tendances

Analyse de tous les sites

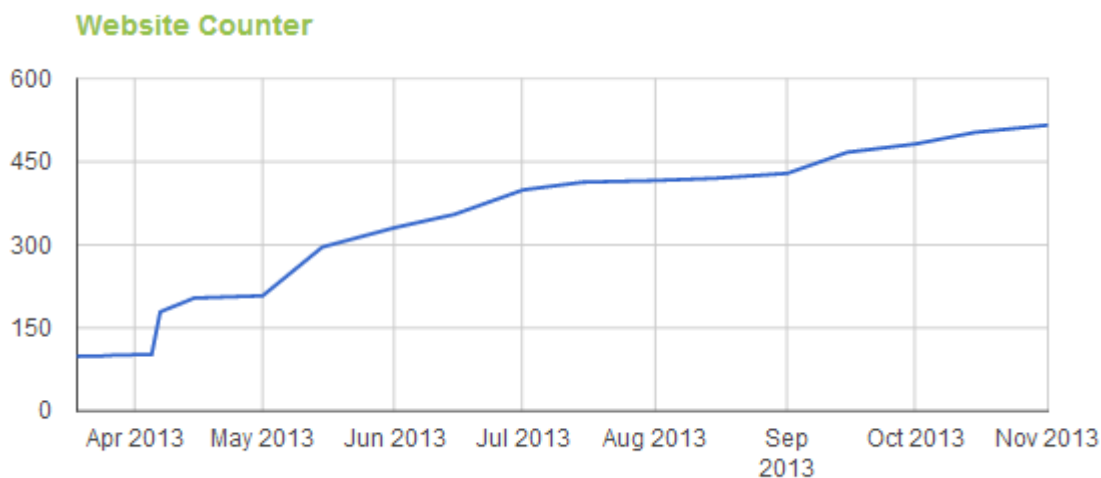
La tendance de consommation mesurée par WEA est la suivante :



La phase avant mai n'est pas à prendre en compte car c'est la phase de mise au point de la plateforme.

Ensuite nous pouvons observer un pic en octobre 2013, il est dû à « l'engorgement » des sondes de mesure. Ce problème a été résolu. Ce phénomène est important à noter car il se reproduit sur les PC des utilisateurs : l'ajout de programme, le chargement de plusieurs onglet, la non extinction des PC... amènent à une augmentation de la consommation moyenne d'énergie.

On peut cependant observer ensuite une augmentation de la consommation. Cependant nous ne pouvons pas conclure, compte tenu que le nombre de sites est en constante augmentation. Il serait nécessaire d'atteindre un seuil critique de site pour pouvoir observer des tendances.



Utilisation des tendances pour l'analyse d'un site

La courbe de consommation du site kaliterre.fr est la suivante (Blog Wordpress):



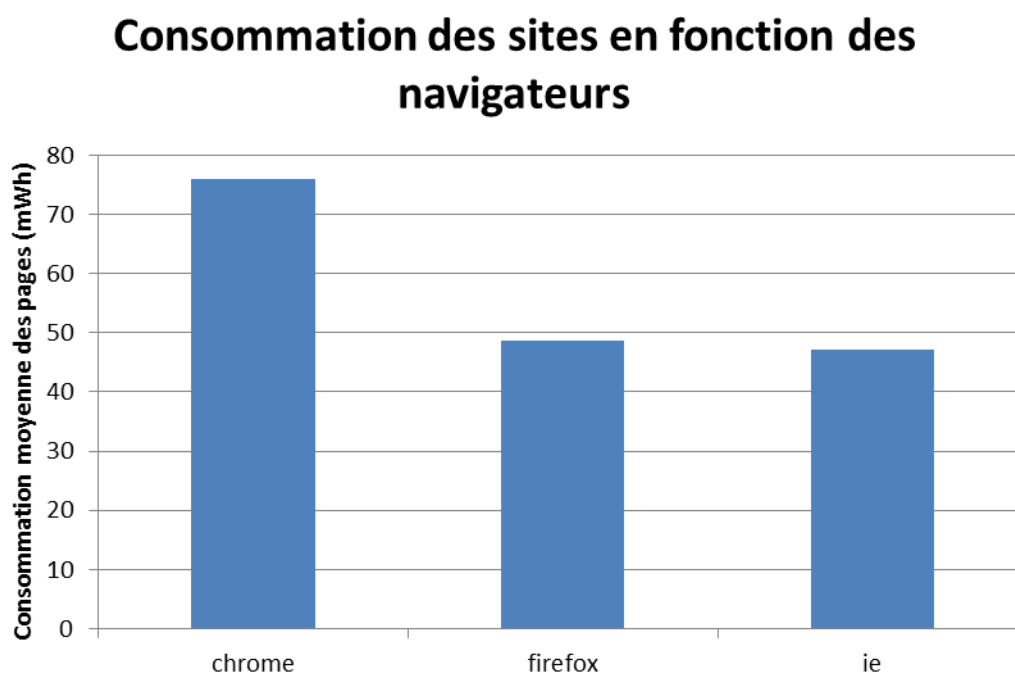
Le site a été optimisé courant mai via la mise en place de bonnes pratiques. Elles ont permis d'atteindre une consommation de l'ordre de 13 mWh en juin. L'usage du blog par les utilisateurs via la mise en place d'article a amené une consommation plus élevée (en moyenne 19 mWh). Ceci peut être expliqué principalement par la mise en place d'image non optimisée.

Ce cas d'usage montre l'intérêt de l'outil WEA pour suivre les optimisations et l'usage d'un site internet.

Consommation des navigateurs

Consommation

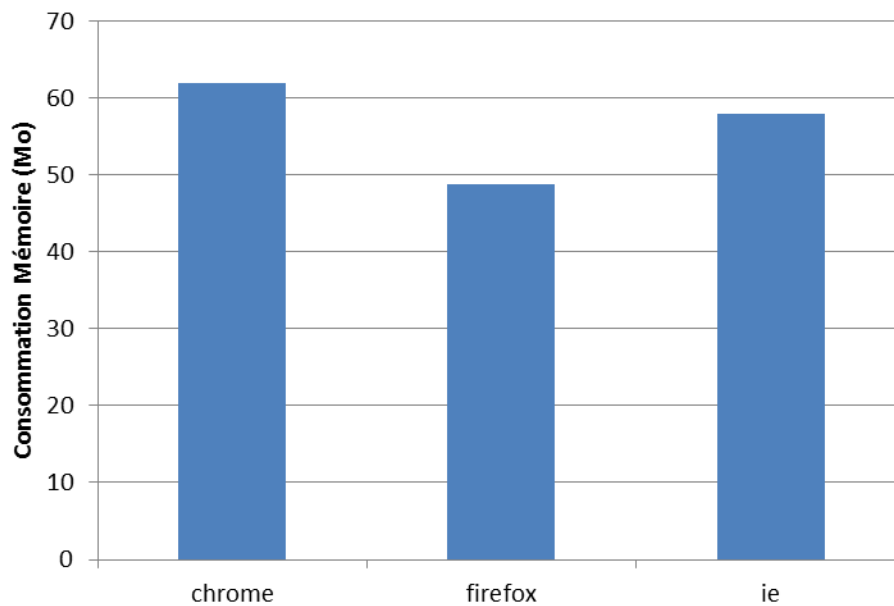
Sur l'échantillon, la moyenne de consommation des sites est la suivante :



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 mais pas de manière aussi importante. Firefox tire son épingle du jeu (13 Mo par site de moins que Chrome)

Impact mémoire vive en fonction des navigateurs

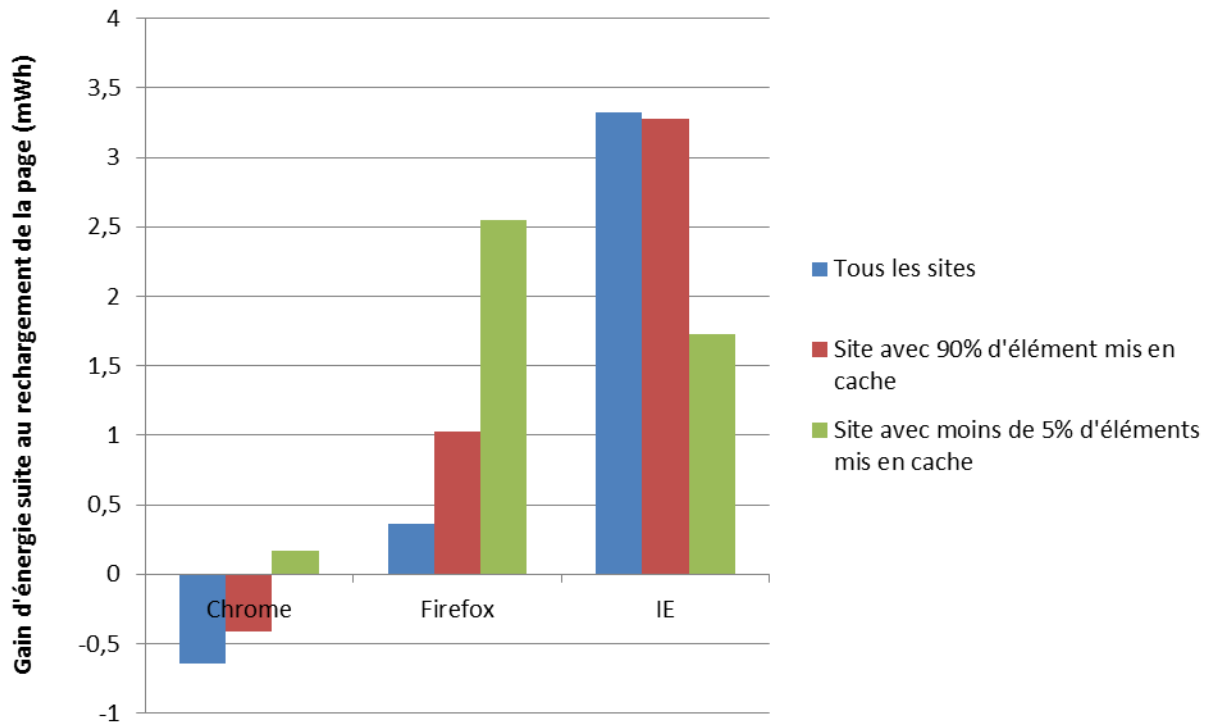


Gestion du cache

Afin d'analyser l'impact de la mise en cache des pages côté client, il est nécessaire de prendre l'énergie consommée une fois la page chargée la deuxième fois soustrait de celle consommée la première fois.

Si on a un delta négatif, alors on a un gain d'énergie lors du rechargement de la page.

Gestion énergétique du cache par les navigateurs



Internet Explorer gère mieux le cache (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.

Nous avons sélectionné des échantillons de sites en fonction du nombre d'éléments de la page qui ont le cache configuré :

- Site avec plus de 95 % d'éléments mis en cache : 68
- Site avec moins de 5% d'éléments mise en cache : 73

On remarque que les gains sur Internet Explorer sont moins importants si il y 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 d'éléments en cache.

Ces résultats peuvent s'expliquer par le fait que même si une page n'est pas re-téléchargé (car en cache), il faut cependant réaliser de nombreuses tâches :

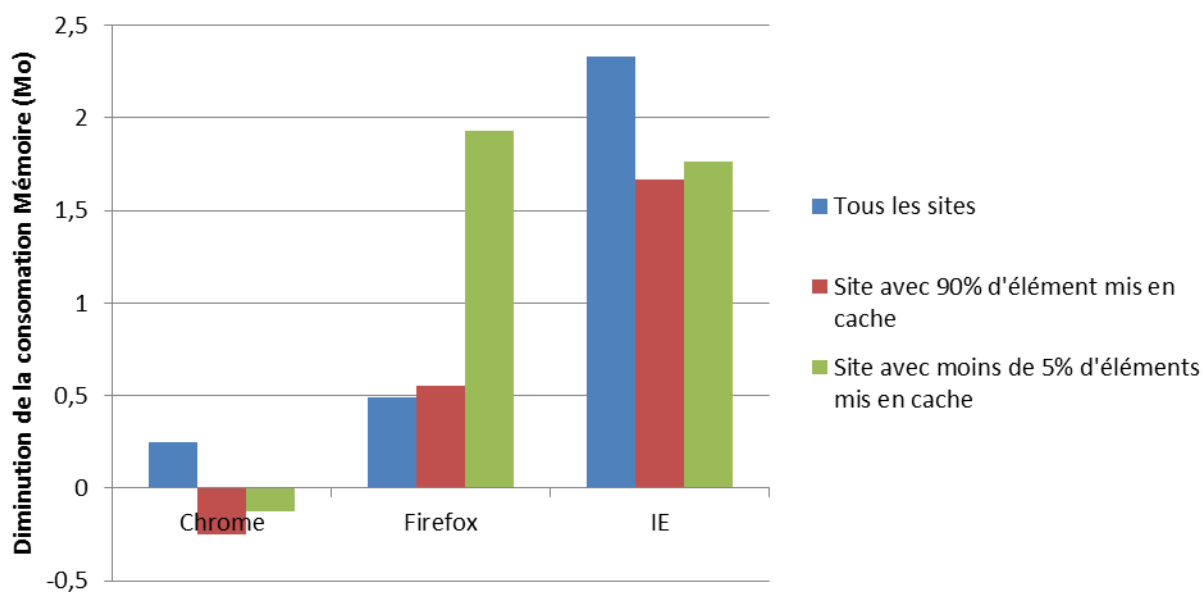
- Communiquer avec le serveur pour récupérer les informations http
- Analyser les résultats
- Rechercher les éléments en cache
- Lire les éléments sur le disque
- Afficher les éléments.

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.

La gestion du cache du point de vue mémoire est semblable à la gestion du cache du point de vue énerhiell y a des gains sur IE et Firefox.

Gestion mémoire du cache par les navigateurs



Nos conclusions sont de maintenir la bonne pratique de configurer les éléments pour qu'ils soient mis en cache. En effet, le gain global est normalement présent car il y aura moins de ressources consommées sur toute la chaîne (serveur et réseau). Cependant, il est nécessaire que les éditeurs de navigateurs implémentent une meilleure gestion du cache en termes de ressources.

A RETENIR

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.

Il existe de plus des différences en termes de consommation de ressources en fonction des navigateurs. On observe plus particulièrement cela pour ce qui est de la gestion du cache. Une prise en compte de ces critères par les éditeurs de navigateur permettrait probablement d'améliorer les choses. En parallèle l'application des bonnes pratiques de mise en cache par les développeurs permettrait de réduire la consommation de ressources sur les serveurs et sur le réseau.

Le lien entre performance et éco-conception des sites web n'est pas systématique. La non-corrélation entre le score Google Page Speed et la consommation d'énergie le prouve. Optimiser et mesurer la consommation des ressources consommées (mémoire et énergie) en plus de la prise en compte des critères de performance permettraient de rapprocher les deux domaines.

RESULTATS PLATES-FORMES ANDROID

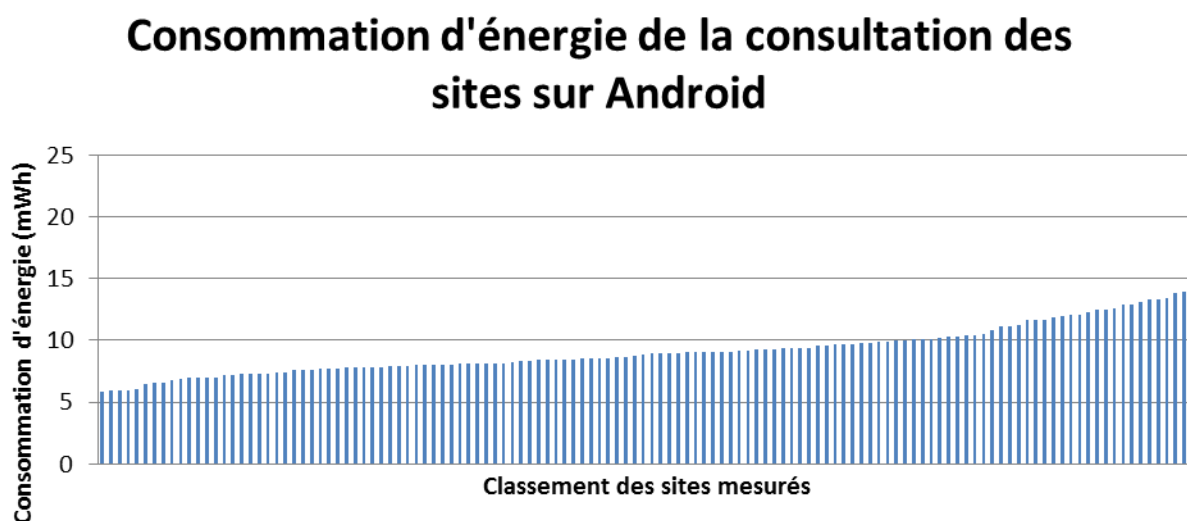
Panel de mesure

La mesure a été réalisée sur les 126 premiers sites du panel des plates-formes PC.

Analyse des mesures

Mesures des sites

La mesure des sites est la suivante :



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

Gestion du Cache

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 intègre 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.

Etude de faisabilité pour l'intégration sous WEA

Cette étude a permis de démontrer qu'il était possible de mesurer facilement la consommation d'énergie sur une plate-forme mobile Android. Cependant plusieurs éléments vont devoir être gérés pour intégrer cela sur WEA :

- La mesure actuelle est effectuée via wifi. On ne peut pas utiliser l'interface 3G (compte tenu de l'activation de l'interface WIFI pour éviter que la batterie se charge). Afin de palier cela, il faudrait, soit modifier Android pour pouvoir rediriger le flux de données Web vers la 3G, soit intégrer une sonde de mesure physique indépendante du téléphone (plus contraignant)
- La suppression du cache est effectuée manuellement avant la campagne de mesure. En effet, la suppression sans passer par l'interface graphique Chrome n'est pas possible. Il est nécessaire d'étudier ce problème.

- La campagne de mesure de 126 sites a vidé la batterie de 65%. Il serait nécessaire de charger automatiquement le portable lorsque le portable atteint un certain seuil. Ceci serait possible en utilisant la capacité de coupure des sondes Plugwise (par exemple). [18]
- Contrairement à une plate-forme PC ou une grande partie de la page est affichée, la plate-forme mobile n'affiche qu'une partie de la page. Il serait nécessaire d'effectuer un déroulement automatique de la page pour se mettre dans la même situation d'affichage que les plates-formes fixes.
- Certains sites détectent l'usage d'une plate-forme mobile et affichent une boîte d'information permettant de télécharger une application mobile. Il serait nécessaire de gérer cela automatiquement (à étudier mais complexe).

A RETENIR

L'intégration des mesures des plates-formes mobiles sur la plate-forme WEA est possible. Cependant, de nombreuses contraintes techniques devront être levées.

La consommation sur mobile est moindre que sur plateforme fixe cependant la mauvaise gestion du cache montre le gaspillage qui pourrait être évité.

CALCUL DE LA PARTIE 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 ($1/\text{ReqS}$).

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. [20]

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 utilisées pour des sites web est de 20 W (Stockage inclus).

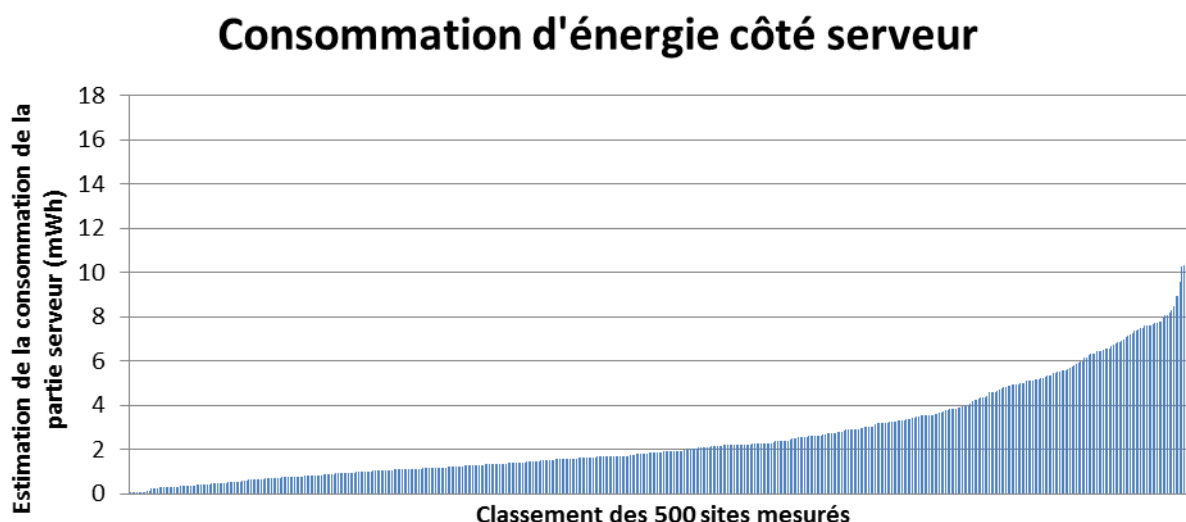
PUE moyen

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). Le nombre et la taille de ces requêtes sont mesurés pour chaque site par WEA.

Pour tous les sites mesurés, on obtient alors la consommation suivante :



La moyenne est de 2,7 mWh et la médiane de 1,7 mWh. La consommation est donc 20 fois moindre que celle de la partie utilisateur.

Nous ne prenons pas en compte l'impact du réseau, il s'agit uniquement de l'impact de la partie serveur. La partie réseau sera analysée dans la suite du projet WEA.

Il n'existe pas d'étude connue qui permettent de corréler ces chiffres. Cependant, Ebay publie un tableau de bord permettant de suivre des métriques [10]. Ebay annonce 34 158 URLs par kWh. Ce qui donne 29 mWh pour une URL. La différence de résultat peut être expliquée par différents critères :

- Minimisation de nos hypothèses (La consommation des serveurs et peut être plus importante)
- Le calcul d'Ebay prend à priori la consommation totale du data center, dont les périodes d'inactivité). Notre modèle ne prend pas en compte ces périodes.
- Notre modèle s'applique sur un site web classique. Dans le cas d'Ebay, l'application est plus complexe (et donc l'architecture aussi)

Google annonce 300 mWh pour une requête.[23].

Cas d'usage

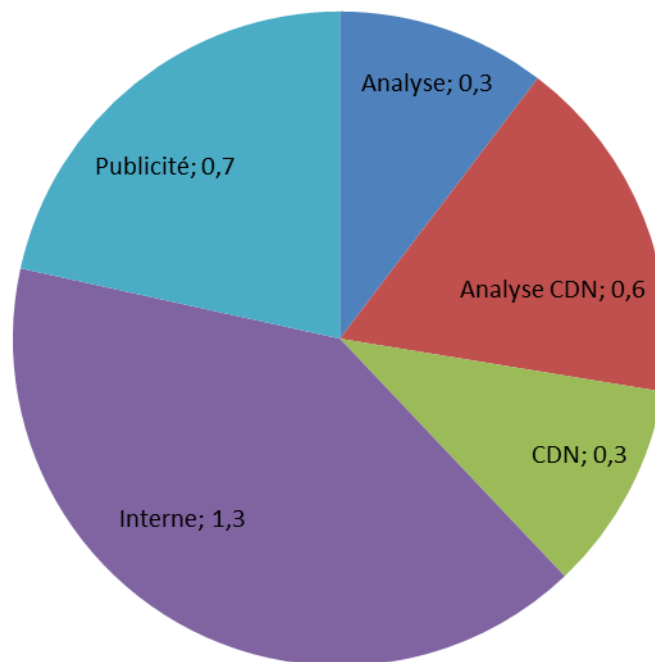
WEA nous remonte les éléments de la page lemonde.fr. Nous avons comme différents serveurs contactés lors de l'affiche de la page d'accueil :

Serveur contacté pour afficher la page d'accueil du monde	Nombre de requête
a.visualrevenue.com	1
bmw2.solution.weborama.fr	2
cedexis.gccdn.net	2
cntr.adrcntr.com	1
download.viamichelin.com	1
ec2-ap-southeast-1a.cedexis.com	2
i1-js-14-3-01-10013-506691926-i.init.cedexis-radar.net	1
lemonde.ezakus.net	2
logc2.xiti.com	2
media.adrcdn.com	1
ping.chartbeat.net	3
probe.cedexis.org	3
probes.cedexis.com	4
publi.lemonde.fr	2
r.254a.com	7
radar.cedexis.com	2
reports.cedexis.com	7
rtb-csync.smartadserver.com	3
s1.lemde.fr	40
s2.lemde.fr	3
scripts.adrcdn.com	2
static.chartbeat.com	1
static.kameleoon.com	1
ww690.smartadserver.com	10
www.google-analytics.com	2
www7.smartadserver.com	7
x.bidswitch.net	4

Nous pouvons classer les serveurs contactés en fonction de la topologie suivante :

- Les serveurs internes du monde.fr (si.lemde.fr...)
- Des fournisseurs de publicité (smartadserver.com...)
- Des outils d'analyse du trafic (chartbeat, google analytics...)
- Des serveurs de contenu CDN (adrcdn.com...)
- Des outils d'analyse des CDN (Cedexis..)

Nous obtenons un impact total de 3,3 mWh pour la consultation de la page avec la répartition suivante :



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 critique

La méthodologie proposée possède cependant quelques limites :

- Nous avons fait l'hypothèse qu'un élément contacté par le serveur (un serveur CDN par exemple) était hébergé uniquement par une machine virtuelle qui a une certaine capacité en termes de nombre de requêtes par seconde. Il est possible que derrière cet élément, il y ait davantage qu'une machine virtuelle. Il pourrait en effet y avoir une architecture beaucoup plus complexe.
- Nous n'avons pas pris en compte l'impact des autres infrastructures mises en jeu (serveurs relais, redondance des serveurs, mirroring de data-centres, etc.)
- La taille et le type de l'élément n'ont pas été pris en compte. En effet, en fonction du fait que le serveur doive générer une page PHP ou fournir un fichier texte, le nombre de requêtes par seconde ne sera pas le même.
- Nous ne prenons pas en compte le type d'hébergement et plus particulièrement la technologie des serveurs.

Cependant ces limites pourraient être levées par une analyse fine d'une architecture (Prolongation de l'étude de cas par exemple du monde.fr). De plus, WEA nous permet de récolter des informations qui permettraient une estimation plus fine. Exemple pour le site lemonde.fr :

req_host	resp_cache_control	resp_content_encoding	resp_server
www.lemonde.fr	max-age=60	Gzip	Apache
s1.lemde.fr	max-age=120	Gzip	ECS (cdg/448E)

Dans cette exemple, on peut identifier la technologie du serveur (Apache, NGINX...).

A RETENIR

Nous pouvons estimer la consommation d'un serveur. Cependant cela demande de plus amples travaux et en particulier des informations de la part des hébergeurs.

Nos premières analyses montrent cependant que l'impact d'un site web ne se concentre pas uniquement sur le serveur lui-même mais sur une architecture extrêmement répartie.

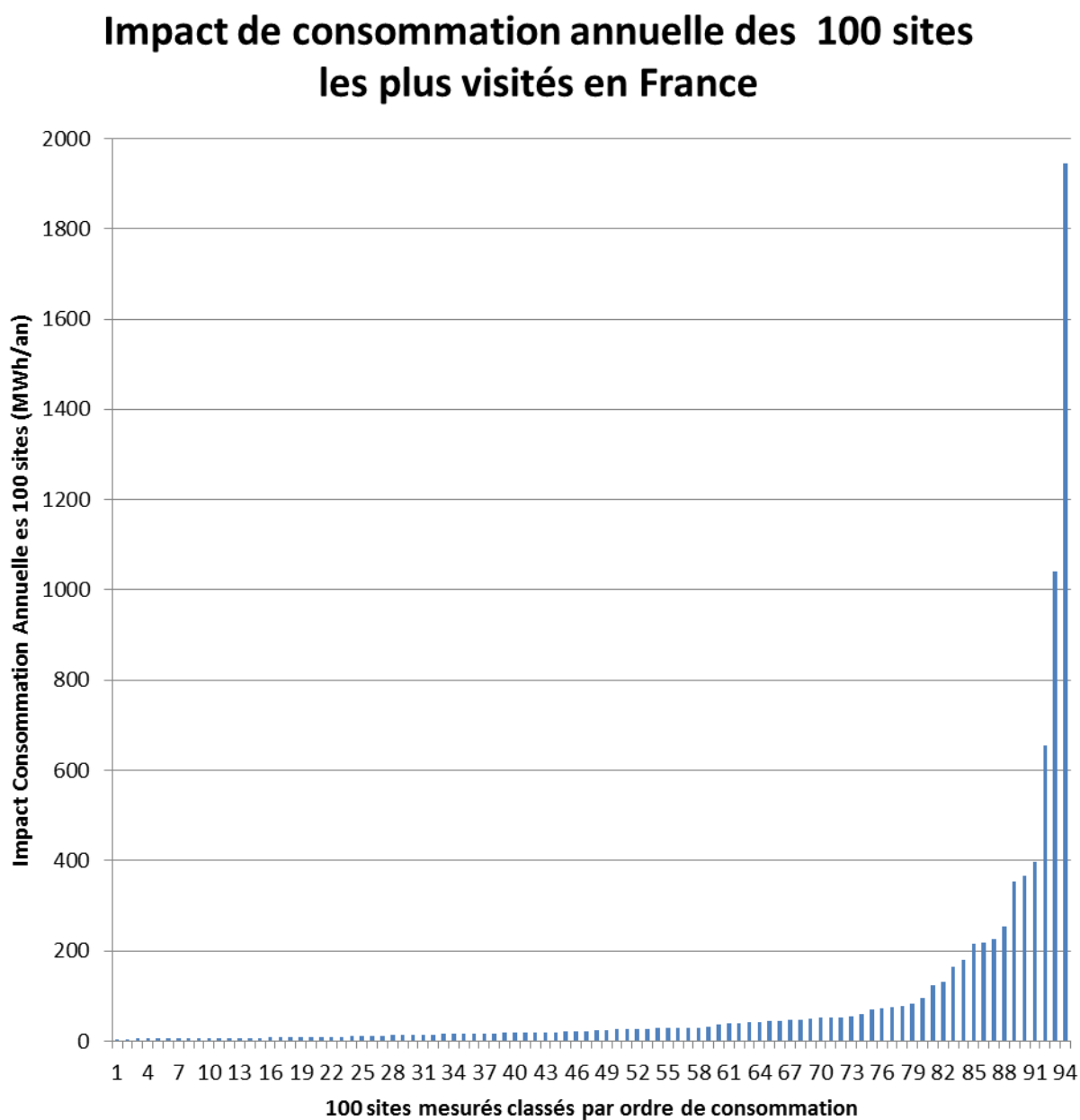
L'analyse d'un service web demande donc d'estimer ou de mesurer encore plus finement tous les éléments de l'architecture. L'augmentation des réseaux sociaux, de la recherche de performance (en particulier avec les CDNs) et du big data (avec les services d'analyse des sites web par exemple) amène à penser que l'impact du site web côté serveur va de plus en plus être dispersé. Il est donc urgent de mesurer l'impact sur les différents services.

ANALYSE MACROSCOPIQUE

Plateforme PC

Analyse

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 / 1 000 000

On obtient un impact entre 2MWh et 1 940 MWh par an.

L'impact total de ces sites est de 8,3 GWh par an soit l'équivalent de 3 077 foyers français.

On parle d'impact car il s'agit du surcôt 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 [12] et la durée de mesure de 40 secondes, il faut rajouter à la métrique de consommation d'énergie $42 \times 40 / 3600$ 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 :

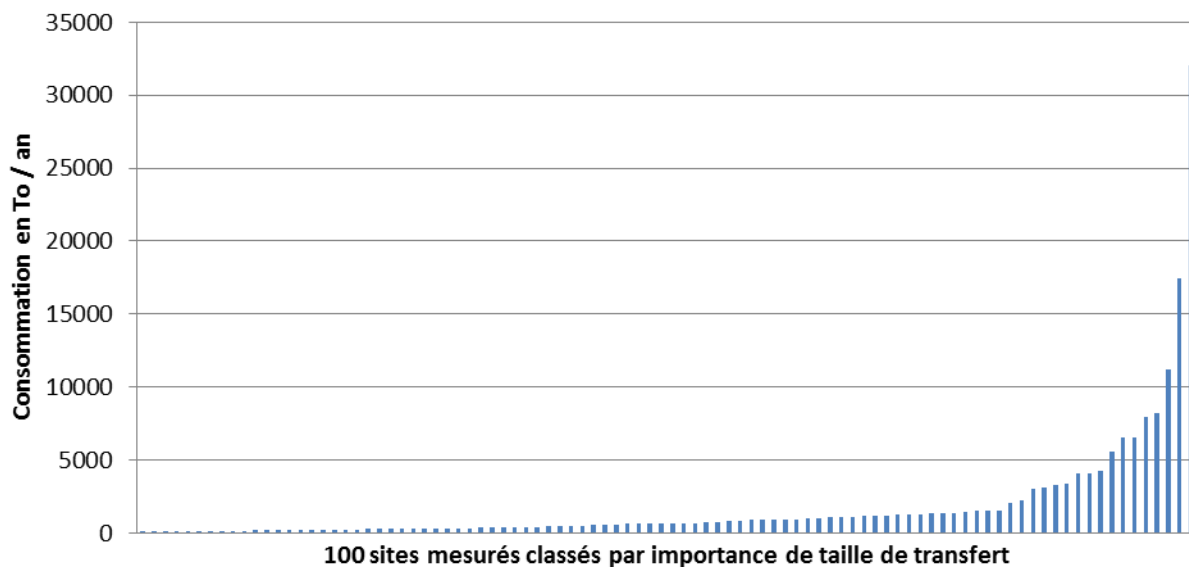
Consommation (MWh/an) = Nombre de page vues par mois * Consommation unitaire (2.7 mWh) * 12 / 1 000 000 000

L'impact de ses mêmes sites côté serveur est de 0,58 GWh. La différence de consommation (100 fois moindre) s'explique par différents éléments :

- Les serveurs sont mutualisés et sont conçus pour effectuer les tâches le plus rapidement possible
- Les parties client sont plus consommatrices car une tâche unique est effectuée pendant une grande période (consulter le site)

L'impact côté client n'est pas géré par les concepteurs (hors scope, problème de maîtrise de toutes les plates-formes...) Quand on regarde la taille des données échangées entre les clients et le serveur par an, on a la répartition suivante :

Données transférées par an pour les 100 sites les plus consultés en France



La consommation totale est de 171 Peta Octet soit 5,7 millions de DVD Blueray. 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.

Gains potentiels

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). Cette hypothèse se base l'observation des sites les plus consommateur par rapport à l'état de l'art des bonnes pratiques qui pourraient être appliquées. En effet, sur ces sites, de nombreuses bonnes pratiques pourraient être appliquées [13] :

- Réduction et optimisation des images
- Utilisation du cache
- Minification des CSS et des JS
- ...

Au final, une consommation moyenne de 49 mWh est tout à fait réaliste.

Les gains potentiels sont les suivants :

- 2,24 GWh soit la consommation électrique de 833 foyers
- 48,7 Po

Plate-forme mobile

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 : $90 * 5 \text{ mWh}$ soit 450 mWh ou 6,6 % de la capacité totale
- Sites les plus lourds : $90 * 13 \text{ mWh}$ 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.

Une autre façon de voir cet impact est de calculer la capacité en nombre de pages vues avant de vider la batterie :

- Sites les plus légers : 6800 mWh / 5 mWh : 1360
- Sites les plus lourds : 6800 mWh / 13 mWh : 523

A RETENIR

La prise en compte du nombre de page vue montre que l'impact coté client peut être largement plus important que celui du réseau ou des serveurs.

La consommation sur mobile est moindre que sur plate-forme fixe cependant l'impact sur l'autonomie de la plate-forme est non négligeable.

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 (de 10 Wh à 200 Wh pour 1000 pages vues). 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 pour limiter celui chez l'utilisateur.

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 matériels mobiles, 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.

Les gains côté utilisateur se chiffrent en effet à plusieurs Giga WattHeure pour ce qui est de l'énergie et Peta Octet pour les données transférés. Les bénéfices attendus sont non seulement une réduction de la facture d'électricité mais un dimensionnement moindre des infrastructures réseau et serveur. Sans compter une réduction de l'obsolescence programmée des terminaux utilisateurs.

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.

Les évolutions possibles sont listées en annexe (ROADMAP PRODUIT)

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.

ROADMAP WEA

Fonctions
Renforcer le modèle énergétique côté client
Affiner et intégrer le modèle énergétique côté serveur
Affiner et intégrer le modèle énergétique du réseau
Intégrer et automatiser la mesure des plateformes Android
Intégrer l'évaluation d'appareil comme les TV connectées.
Intégrer la possibilité de mesurer plusieurs pages d'un site
Ajouter des paramètres à la mesure (Suppression de la pub...)
Augmenter la capacité de mesure (plus de plates-formes...)
Augmenter la représentativité de la mesure (plus de navigateur et de plateformes différentes)
Offrir la possibilité de mettre un étiquetage énergétique sur son site
Offrir la possibilité de faire la mesure sur son poste via un plugin
Automatiser la récupération des données d'audience
avoir des outils de supervision
travailler sur une moyenne pondérée par rapport aux plates-formes réellement utilisées

LE GREEN CODE LAB

Description

Cette association à but non lucratif a pour objet la promotion de l'écoconception des logiciels, un ensemble de méthodologies et de pratiques de développement, dans le monde entier, notamment au travers d'actions de sensibilisation, de communication et d'études technologiques et scientifiques et par tous autres moyens : séminaire, rencontre, publication, accompagnement, formation, conseil, certification, etc.

Plus d'information sur <http://greencodelab.fr/>

Green Code Lab a pour objet de :

- Fédérer les experts du développement logiciel autour de l'écoconception des logiciels,
- Initier des bonnes pratiques en termes de développement durable,
- Généraliser des bonnes pratiques de programmation par l'alimentation d'un référentiel,
- Sensibiliser et former les développeurs à l'écoconception,
- Rassembler les experts issus de technologies et de domaines divers,
- Favoriser des échanges entre développeurs, acteurs du développement durable, industriels et universitaires,
- Travailler avec les autres communautés internationales,
- Prouver la viabilité environnementale, sociale et économique des bonnes pratiques de développement et des green patterns ou objets informatiques de moindre consommation,
- Valoriser les entreprises ayant entrepris des démarches de réduction de leur impact énergétique dans leurs logiciels ou des logiciels développés pour leurs clients.

Activités

- *Participation à des groupes de travail*
 - AFNOR,
 - International : Green Software Engineering, SIG / SEFL.
- Organisateur du premier concours d'éco-conception logicielle : Le Green Code Lab Challenge
- *Formation*
 - Atelier de mesure de la consommation (2 h),
 - Formations sur l'écoconception (1 j à 3j).
- *Audit des pratiques et des projets*
 - Basée sur un référentiel de pratiques et de *patterns*,
 - Environ 5 jours.
- *Développement de procédures de bonnes pratiques*
 - Exemple d'approbation : Mise en place d'un cahier des charges de site web éco-conçu pour une banque suisse.
- *Partenaire du projet de recherche collaboratif CODE VERT*

- Kaliterre, ICAM, SIGMA, TOCEA,
- Mettre en place un référentiel outillé de bonne pratique.
- *Incubation de logiciel de mesure*
 - Green Fox : Plugin de mesure de la consommation de site web,
 - Plugwyse Direct : mesure temps réelle de la consommation des logiciels.

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/>
- [4] Maché des OS 2. (s.d.). Récupéré sur <http://www.pcinpact.com/news/67445-systeme-exploitation-windows-mac-os-linux.htm>
- [3] Marché des OS. (s.d.). Récupéré sur <http://www.netmarketshare.com/operating-system-market-share.aspx?qprid=8>
- [11] OJD. (s.d.). *Audience des sites internet*. Récupéré sur <http://www.ojd-internet.com/chiffres-internet>
- [2] OS, M. d. (s.d.). Récupéré sur <http://www.journaldunet.com/solutions/dsi/marche-des-os-en-septembre-2012-1012.shtml>
- [5] Part de marché Windows 8. (s.d.). Récupéré sur <http://onsoftware.softonic.fr/windows-8-5-pour-cent-de-parts-de-marche>
- [6] Part de marché des OS. (s.d.). Récupéré sur http://en.wikipedia.org/wiki/Usage_share_of_operating_systems
- [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>

SITES MESURES

<http://airfrance.bannerfactory.fr>
<http://akelium.fr>
<http://amap-stjo.fr/>
<http://arnaudtest.fr>
<http://artibat.com>
<http://astoriadogs.com/>
<http://bernard.istasse.perso.neuf.fr/eisis/web/>
<http://breek.fr>
<http://bringr.net>
<http://community.social-planet.org/groups>
<http://cours.ouest.free.fr>
<http://demande.groupe-sigma.com/?cs=8>
<http://demo.ateliericeberg.fr/>
<http://dna.fr/>
<http://easyvirt.fr/>
<http://ecconstruction.fr/>
<http://egreen.fr>
<http://etheride.fr>
<http://evhell.fr/>
<http://far44.fr/>
<http://fr.atos.net/fr-fr/>
<http://fr.mappy.com/>
<http://fr.skyrock.com/>
<http://fr.sodexo.com>
<http://france.edf.com>
<http://france.lachainemeteo.com/>
<http://france.meteofrance.com>
<http://greencodelab.fr>
<http://greencodelab-challenge.org>
<http://green-it-addict.fr>
<http://gridatacenter.org>
<http://grooveshark.com>
<http://igrida.gforge.inria.fr>
<http://investigator-android.com>
<http://iut-lpc.fr>
<http://julien.richard-foy.fr>
<http://leakid.com>
<http://ledauphine.com/>
<http://legifrance.gouv.fr/>
<http://lesjoiesducode.tumblr.com>
<http://lesquared.fr/>
<http://mcdonalds.fr>
<http://metropole.rennes.fr/>
<http://nantesstnazaire.cci.fr/CCI44/Page/>
<http://naohack.org>
<http://news.google.com/>
<http://novabuild.fr>
<http://paysdelaloire.ademe.fr>
<http://petitchemin.fr>
<http://pitchfork.com>
<http://pluzz.francetv.fr/>
<http://protection-civile.org/>
<http://protection-civile44.fr>
<http://protek.to>
<http://qivivo.com>
<http://qualif2.webenergyarchive.com/>
<http://quovadis.eu>
<http://s10.sfgame.fr/>
<http://saijou.fr/>
<http://service-public.fr/>
<http://shop.nordstrom.com>
<http://sic.sapo.pt>

<http://sigma.fr>
<http://sodius.com>
<http://stereolux.org>
<http://steria.com/fr>
<http://steveaustin.fr>
<http://symfony.com/>
<http://tegralis.fr/>
<http://tempsreel.nouvelobs.com/>
<http://tocea.com/>
<http://umanit.fr>
<http://vinci.fr>
<http://web.polytech.univ-nantes.fr/>
<http://www.118000.fr/>
<http://www.118712.fr/>
<http://www.20minutes.fr/>
<http://www.a2jv.fr>
<http://www.a5sys.com/>
<http://www.accenture.com/us-en/pages/index.aspx>
<http://www.adidas.fr/>
<http://www.afp.fr/>
<http://www.afpa.fr/>
<http://www.agence-i-communication.com/>
<http://www.agence-paysdelaloire.fr/>
<http://www.akkalia.com>
<http://www.alcatel-lucent.com>
<http://www.alec-rennes.org>
<http://www.alliancegreenit.org/>
<http://www.allocine.fr/>
<http://www.alpc.asso.fr>
<http://www.amnis-consulting.fr>
<http://www.amoursucre.com/>
<http://www.anjou-velo-vintage.com>
<http://www.anovy.asia>
<http://www.an-projects.com>
<http://www.apidesk.com>
<http://www.apple.com/>
<http://www.aquasys.fr>
<http://www.areva.com>
<http://www.areva.fr>
<http://www.arkhan.org>
<http://www.artef.tv/fr>
<http://www.asia-focsie.fr/>
<http://www.asi-informatique.fr>
<http://www.askom.fr/>
<http://www.ateliericeberg.fr>
<http://www.atlanpole.fr>
<http://www.atlanticiels.com/>
<http://www.audencia.com>
<http://www.aujardin.info/>
<http://www.autoplus.fr/>
<http://www.avenir-patrimoine.fr/>
<http://www.aviron-nantes-cll.com>
<http://www.aviva.fr/>
<http://www.awedia.com>
<http://www.bebe-au-naturel.com/>
<http://www.bebemotard.com>
<http://www.belm.fr>
<http://www.benrajalu.net>
<http://www.bimedia.com.fr>
<http://www.blablacar.com>
<http://www.bouhyer.com>
<http://www.boureliau.com>
<http://www.boursier.com/>
<http://www.boursorama.com/>

<http://www.bp-art.com>
<http://www.bretagne.fr>
<http://www.bretagne-eco-entreprises.fr>
<http://www.bretagne-energie.fr>
<http://www.business-strategy.fr>
<http://www.cadremploi.fr/>
<http://www.ca-leasing.fr/>
<http://www.camicas-productions.com>
<http://www.canalplus.fr/>
<http://www.captronic.fr>
<http://www.carrefour.fr/>
<http://www.catherinecaldray-relooking.com/>
<http://www.cbp-group.com/>
<http://www.cdclimat.com>
<http://www.cdiseout.com/>
<http://www.ceveno.fr>
<http://www.cg2i.org/>
<http://www.cgi.com/fr>
<http://www.challenges.fr/>
<http://www.channelbp.com>
<http://www.cia.com>
<http://www.cispclub.org/>
<http://www.clever-cloud.com>
<http://www.closermag.fr/>
<http://www.cmarkea.com/fr/group.html>
<http://www.cmcic-capitalfinance.com>
<http://www.co2solidaire.org/>
<http://www.co2strategy.be>
<http://www.code-vert.org>
<http://www.comite21.org>
<http://www.comptaline.be>
<http://www.coonile.com>
<http://www.cosmopolitan.fr/>
<http://www.cotemaison.fr/>
<http://www.courrierinternational.com/>
<http://www.covoiturage.fr/>
<http://www.creatif-lab.com/index2.htm>
<http://www.creperie-restaurant-le-st-georges.fr/>
<http://www.criouest.org/>
<http://www.croix-rouge.fr/>
<http://www.d8.tv/>
<http://www.dailymotion.com/fr>
<http://www.danoneetvous.com/>
<http://www.datasyscom.fr>
<http://www.daxium.com>
<http://www.delt.fr/>
<http://www.devoteam.fr/>
<http://www.dhnet.be/>
<http://www.doctissimo.fr>
<http://www.douala-city.org>
<http://www.ebay.fr/>
<http://www.ecobase21.net>
<http://www.ecocity-2013.com>
<http://www.ecoconceptionweb.com>
<http://www.ecofrugalproject.org/>
<http://www.ecoles-idrac.com/ldrac/>
<http://www.ecologic-france.com/>
<http://www.edea-software.com/fr>
<http://www.eedomus.com>
<http://www.efficycle.fr>
<http://www.egreen.fr>
<http://www.e-leclerc.com/>
<http://www.elysee.fr/>
<http://www.emn.fr>

<http://www.emotic.fr/>
<http://www.epitech.fr>
<http://www.epsi.fr>
<http://www.epsilab.net>
<http://www.erdfdistribution.fr/Accueil>
<http://www.esaip.org>
<http://www.escendo.fr>
<http://www.eseo.fr>
<http://www.euradionantes.eu>
<http://www.europe1.fr/>
<http://www.evea-tourisme.com>
<http://www.evene.fr/>
<http://www.exia.cesi.fr/>
<http://www.expectra.fr>
<http://www.explore.fr>
<http://www.explorimmo.com/>
<http://www.eyrolles.com/>
<http://www.fabulem.com>
<http://www.facebook.com>
<http://www.facebook.fr>
<http://www.fakeindicator.com>
<http://www.fan2.fr/>
<http://www.femmeactuelle.fr/>
<http://www.fleurymichonsports.fr/>
<http://www.florian-roisnet.fr>
<http://www.fnac.com/>
<http://www.fnac.fr>
<http://www.fondaterra.com>
<http://www.fondation-nicolas-hulot.org/>
<http://www.fondation-visio.org>
<http://www.football.fr/>
<http://www.france2.fr/>
<http://www.france24.com/>
<http://www.france3.fr/>
<http://www.france5.fr/>
<http://www.franceculture.fr/>
<http://www.franceinfo.fr/>
<http://www.franceinter.fr/>
<http://www.franck-boutte.com>
<http://www.freemind-group.com>
<http://www.frinux.fr>
<http://www.gala.fr/>
<http://www.gamingcommission.fgov.be/>
<http://www.gautier.fr>
<http://www.ge.ch/>
<http://www.ginkgo21-biloba.com>
<http://www.gites-de-france.com>
<http://www.Golfplan.cz/pojisteni-hole-in-one>
<http://www.grandtheftauto5.fr/>
<http://www.graphism.fr>
<http://www.grdf.fr/>
<http://www.green-acres.com/>
<http://www.greenit.fr/>
<http://www.greenitweek.org/>
<http://www.greenlabcenter.com>
<http://www.greenpeace.org>
<http://www.greenspector.com/>
<http://www.greenvision.fr>
<http://www.groupe-cd.fr/>
<http://www.groupegambetta.fr>
<http://www.groupehelice.fr/>
<http://www.grtgaz.com/>
<http://www.hexaliance.com/accueil/>
<http://www.huffingtonpost.fr/>

<http://www.human-connect.com>
<http://www.ibm.com>
<http://www.icilaba-creation.com>
<http://www.ifag.com/>
<http://www.ikkacraft.com/wiki/index.php/Accueil>
<http://www.ikumbi-solutions.com>
<http://www.imateleassistance.com>
<http://www.imateleassistance-pro.com>
<http://www.imie-ecole-informatique.fr>
<http://www.iminfo.Fr>
<http://www.impots.gouv.fr/>
<http://www.infobebes.com/>
<http://www.informavic.fr/>
<http://www.innovation-idf.org>
<http://www.insa-rennes.fr/>
<http://www.integram.fr>
<http://www.intellinium.com>
<http://www.irealite.com>
<http://www.iut-larochelle.fr>
<http://www.jbvigneron.fr/>
<http://www.jeuxvideo.com/>
<http://www.juliencrestin.com>
<http://www.julienvilleneuve.com>
<http://www.kaliterre.fr/>
<http://www.kinaia.fr>
<http://www.kosmos.fr>
<http://www.kskills.com>
http://www.kumorfos.com/Kumorfos_philosophie.htm
<http://www.lacantine-rennes.net/>
<http://www.lacite-nantes.fr/>
<http://www.ladepeche.fr/>
<http://www.lalibre.be/>
<http://www.lamontagne.fr/>
<http://www.lanouvellerepublique.fr/>
<http://www.laposte.fr/>
<http://www.laposte.net/>
<http://www.laprovence.com/>
<http://www.laredoute.fr/>
<http://www.laromagne.fr/>
<http://www.latribune.fr/>
<http://www.lavenir.net/>
<http://www.lavoixdunord.fr/>
<http://www.leboncoin.fr/>
<http://www.lefigaro.fr/>
<http://www.legaulois.fr/>
<http://www.legendsofcode.fr/>
<http://www.lejdd.fr/>
<http://www.lemonde.fr/>
<http://www.lenergiemoinscher.com>
<http://www.leparisien.fr/>
<http://www.lepoint.fr/>
<http://www.leprogres.fr/>
<http://www.lequipe.fr/>
<http://www.lesechos.fr/>
<http://www.lesinrocks.com/>
<http://www.lesoir.be/>
<http://www.letelegramme.fr/>
<http://www.letudiant.fr/>
<http://www.lexpress.fr/>
<http://www.liberation.fr/>
<http://www.ligue-moto-bourgogne.org/>
<http://www.lindependant.fr/>
<http://www.linkbynet.com>
<http://www.logic-immo.com/>

http://www.loire-atlantique.fr/jcms/j_6/accue
<http://www.lylaah.com>
<http://www.m6replay.fr/>
<http://www.madeco-bremaud.fr/>
<http://www.made-in-cafe.com/>
<http://www.magasins-u.com/portailu/national/s>
<http://www.magicmaman.com/>
<http://www.magnanime.fr>
<http://www.maloblanchard.com/>
<http://www.marianne.net/>
<http://www.marie.fr/>
<http://www.marieclaire.fr/>
<http://www.marmiton.org/>
<http://www.matinaledigitale.com>
<http://www.mba-multimedia.com>
<http://www.mediaetudiant.fr/>
<http://www.mediapilote.com>
<http://www.melty.fr/>
<http://www.microsoft.com>
<http://www.midilibre.fr/>
<http://www.minutebuzz.com/>
<http://www.mondpc.fr>
<http://www.myco2.fr>
<http://www.nailartiseasy.fr>
<http://www.nantes-developpement.com>
<http://www.nantesgreencapital.fr/>
<http://www.nantes-habitat.fr>
<http://www.nantesmetropole.fr/>
<http://www.neovivo.fr>
<http://www.new-learning.fr/>
<http://www.nicematin.com/>
<http://www.nicomak.eu>
<http://www.nlm-telecourtage.fr>
<http://www.noteo.info>
<http://www.nouvellesconquetes.com>
<http://www.nrj.fr/>
<http://www.ocbi.fr/index.php/fr/qui-sommes-nous/ocbi.html>
<http://www.ocean-partner.com/>
<http://www.oeuvre-orient.fr/>
<http://www.ogdpc.fr>
<http://www.open-apps.fr/>
<http://www.openlog.fr>
<http://www.orange.com>
<http://www.orange.fr/portail>
<http://www.osteomontauban.fr/>
<http://www.ouest-france.fr/>
<http://www.ozonec.re>
<http://www.pagesjaunes.fr/>
<http://www.paris.fr/>
<http://www.parismatch.com/>
<http://www.paris-turf.com/>
<http://www.parlonsnet.com>
<http://www.paroledemamans.com/>
<http://www.paruvenu.fr/>
<http://www.paypal.com/>
<http://www.paysdelaloire.comite21.org/>
<http://www.paysdelaloire.fr/>
<http://www.pays-stmalo.fr>
<http://www.pensee-unique.fr/>
<http://www.peranimi.com>
<http://www.perspectiv.fr>
<http://www.planet.fr/>
<http://www.polytech-reseau.org/>
<http://www.premiere.fr/>

<http://www.presseocean.fr/>
<http://www.privatesportshop.com/>
<http://www.programme.tv/>
<http://www.programme-tv.net/>
<http://www.protectioncivile.org/>
<http://www.protectioncivile49.fr/>
<http://www.protectioncivile53.fr/>
<http://www.psychologies.com/>
<http://www.qivivo.com>
<http://www.regionsjob.com/>
<http://www.relux.biz/>
<http://www.relux.com>
<http://www.relux.info/index.php>
<http://www.rfi.fr/>
<http://www.rse-nantesmetropole.fr>
<http://www.rtbef.be/tv/laune/>
<http://www.rue89.com/>
<http://www.ruedcommerce.fr>
<http://www.rustica.fr/>
<http://www.sacrecoeur.nantes.e-lyco.fr/>
<http://www.salesforce.com>
<http://www.seloger.com/>
<http://www.sfr.fr/>
<http://www.sigems.fr>
<http://www.sigma.fr>
<http://www.siteduzero.com/>
<http://www.skyrock.fm>
<http://www.slate.fr/>
<http://www.sncf.fr/>
<http://www.sodifrance.fr>
<http://www.softwareinbrussels.be>
<http://www.solent.fr/>
<http://www.sophie-anfray.fr>
<http://www.sopragroup.fr/>
<http://www.soqrate.com>
<http://www.sounderbox.com/>
<http://www.soyermametinsurance.be/>
<http://www.sp2.fr>
<http://www.sport24.com/>
<http://www.spotify.com/fr>
<http://www.sqli.com>
<http://www.stationmobile.fr/>
<http://www.storistes-de-france.com>
<http://www.studyrama.com/>
<http://www.sudouest.fr/>
<http://www.tactads.com>
<http://www.tan.fr>
<http://www.telerama.fr/>
<http://www.tennispro.fr>
<http://www.terra21.fr>
<http://www.terrena.fr/>
<http://www.tf1.fr/>
<http://www.thormug.com>
<http://www.tibco.fr>
<http://www.transilien.com/>
<http://www.twitter.com>
<http://www.uncoindpixel.com/>
<http://www.unicef.fr/>
<http://www.vaccinations-airfrance.fr>
<http://www.verteego.com>
<http://www.vif.fr/>
<http://www.vizeho.com>
<http://www.voici.fr/>
<http://www.voila.fr/>

<http://www.voyages-sncf.com/>
<http://www.web2day-nantes.org/>
<http://www.webdeveloppementdurable.com>
<http://www.webenergyarchive.com/>
<http://www.webnode.fr/>
<http://www.wikipedia.org/>
<http://www.wwf.fr/>
<http://www.xipi.eu>
<http://www.yannbenichou.com/>
<http://www.youporn.com>
<http://www.youtube.com/?gl=FR&hl=fr>
<http://www.youtube.fr>
<http://www.ypresia.fr>
<http://www.zilten.com>
<http://www2.ademe.fr>
<http://zero-gachis.com/>
<http://zoomzoomzen.com>
<https://github.com>
<https://www.caisse-epargne.fr/particuliers/accueil.aspx>
<https://www.ge-fao.ch/>
<https://www.google.fr/>
<https://www.labanquepostale.fr>
<https://www.lcl.fr/>
<https://www.toovalu.com/>
<http://www.negawatt.org/>
<http://jblegall.fr>
<http://unenfantparlamain.org>
<https://blog.mrbear-hideout.com/>
<http://cyrixdev.blogspot.fr/>
<http://www.xf-ar.com/>
<http://www.nantes.aeroport.fr>
<http://www.opticonnection.com/>
<http://www.lemouv.fr/>
<http://www.francemusique.fr/>
<http://www.fipradio.fr/>
<http://www.francebleu.fr/>
<http://www.radiofrance.fr/>
<http://www.nantes.fr>
<http://www.nem-summit.eu>
<http://international.nytimes.com>
<http://brunochirez.com>
<http://www.greencodelab.fr/>
<http://www.ucn.dk>
<http://www.openhost.fr>
<https://www.cottinparis.com>
<http://www.istia.univ-angers.fr>
<http://www.enscio.fr>
<http://www.abeobio.com>
<http://www.skyrock.com>
<http://www.jocly.com/>
<http://www.telenantes.com/>
<http://www.real-debrid.com>
<http://www.draw-your-team.com>
<http://devfest.gdgnantes.com/#/homepage>
<http://www.netil.fr/>
<http://www.gdgnantes.com/>
<http://www.univ-nantes.fr>
<http://www.gedicom.fr>
<http://www.paris-region.com/>
<http://www.metro.fr>
<http://www.icam.fr>
<http://comscot.wordpress.com>
<http://www.henique.fr>
<http://www.aventureaugalop.fr>

<http://www.gaelgerard.com>
<http://www.greenitconsulting.ch>
<http://www.eco-action-plus.fr/>