

Impact, dominance et classements des universités

Nicolas Carayol \diamond, \ddagger , Ghislaine Filliatreau \diamond , Agenor Lahatte \diamond

\diamond Observatoire des Sciences et Techniques (OST)

\ddagger GREThA, Université de Bordeaux - CNRS

Version révisée de octobre 2014

Abstract

Cet article présente un modèle théorique permettant d'établir, pour plusieurs classes de fonctions de valorisation des citations reçues par les articles, des relations de dominance entre les productions scientifiques d'établissements de recherche pris deux à deux. Ces relations de dominance sont ensuite utilisées pour construire des réseaux de dominance, des classements et des classes de référence. L'article discute les résultats obtenus pour les principales universités de recherche américaines.

Keywords: Relations de dominance, citations, impact, classements, classes de référence.

JEL codes: D63, I23.

1 Introduction

Depuis quelques années, plusieurs classements mondiaux d'universités ont vu le jour, stimulés par une demande croissante émanant d'étudiants de plus en plus mobiles et désireux de choisir au mieux leur école ou université. Soumis à une concurrence accrue, les responsables de ces institutions accordent désormais une forte attention à ces classements. Pour beaucoup d'observateurs, cette attention est excessive, à la fois au regard de la qualité réelle de l'information produite mais aussi du point de vue de l'usage possible de cette information dans l'amélioration de l'offre et dans le positionnement des établissements. Simultanément, la recherche de gains d'efficacité des systèmes universitaires nationaux a conduit à l'autonomisation des établissements, laquelle a naturellement accru le besoin de faire évaluer ces établissements et leurs personnels par des institutions idoines.

Ces évolutions ont sensibilisé le grand public et porté au coeur des préoccupations des acteurs la question de la mesure de la production scientifique qui est un objet d'analyse traditionnel en scientométrie. Dans cette discipline, la production scientifique est appréhendée sous deux angles principaux: d'un côté le volume, à travers des décomptes plus ou moins sophistiqués d'articles, et de l'autre l'impact scientifique ou le prestige académique. Cette dernière dimension, que l'on dénotera ici de manière générique par le terme qualité, peut être appréhendée en privilégiant la revue par les pairs, mais cette approche s'avère compliquée à mettre en oeuvre à grande échelle. Elle peut aussi être appréciée à travers différentes mesures de l'impact des articles dans la communauté scientifique, par l'intermédiaire des citations reçues. L'idée que le prestige scientifique peut être approximé par les citations peut être associée au travail pionnier du sociologue R. K. Merton (cf. Merton, 1973), lequel a été ensuite systématisé par des scientomètres tels que Price (1965), Garfield (1963) ou encore Pinski et Narin (1976) qui tendent à pondérer les citations en fonction de la source citante. Si nous utilisons ici certaines de ces mesures de qualité et en discutons les particularités, nous nous concentrons plus particulièrement sur la question de l'articulation entre qualité et quantité. Le besoin de mesures synthétiques, qui prennent en compte à la fois le volume et l'impact des publications, explique largement le succès de l'indice h proposé récemment par Hirsch (2005). Cet indice consiste en une manière originale, mais aussi très spécifique, d'associer l'information relative aux deux dimensions.¹ A notre connaissance, aucune autre contribution académique n'a proposé un modèle permettant de réaliser des comparaisons sur la base de jugements explicites prenant en considération à la fois la quantité et l'impact des articles.

Nous développons ici une méthodologie de comparaison et d'analyse prenant en compte

¹Son objectif déclaré est de rendre compte de la capacité de chercheurs individuels à réaliser une production scientifique à la fois visible et soutenue. Cet indice a reçu un grand nombre de critiques (Egghe, 2006; Anderson et al., 2008; Woeringer, 2008).

simultanément ces deux dimensions que nous appliquons aux universités de recherche américaines les plus prestigieuses, pour illustrer son application et ainsi son éventuelle utilité dans la réalisation de comparaisons et de classements de productions scientifiques d'universités.² En termes généraux, cette théorie se présente comme une légère généralisation de la notion de dominance stochastique largement utilisée en économie dans la théorie de choix dans l'incertain (Rothschild et Stiglitz, 1970) et dans l'analyse de distributions de revenus ou de richesse (Atkinson, 1970). Elle étend la notion de dominance stochastique en cela qu'elle permet de comparer des profils d'institutions en valorisant aussi la quantité d'items (et non la seule qualité et sa distribution).³ Comme dans la dominance stochastique, les relations de dominance sont établies si et seulement si l'unanimité est obtenue au sein de classes bien définies de la fonction associée (analogue de la fonction d'utilité), ce qui revient ici à adosser les comparaisons d'universités à des jugements de valeur relatifs à la fois à la quantité et à la qualité de leurs publications.

Par l'association des jugements de valeur à des classes de fonctions, notre approche prend en considération la qualité et la quantité d'une manière à la fois explicite et ajustable. On peut notamment retenir comme un principe unanimement partagé qu'un article supplémentaire ne puisse jamais faire décroître la performance d'une institution de recherche. Nous proposons, comme un second principe acceptable par tous, qu'un accroissement de la qualité d'un article ne puisse aussi jamais décroître la performance d'une institution. Enfin, nous proposons l'hypothèse supplémentaire de convexité de la fonction de valorisation, qui implique par exemple qu'un article de qualité $2x$ soit toujours préféré à deux articles de qualité x semble largement partagée. Le premier principe serait associée à une valorisation du volume, le second (ajouté au premier) à une orientation vers la qualité, alors que le troisième principe (ajouté aux deux précédents) traduit plutôt le souci de l'excellence. En fonction des jeux d'hypothèses retenus, il est ainsi possible d'établir des relations de dominance deux à deux au sein d'un ensemble d'universités dans un système de valeur explicite puis d'utiliser ces relations pour construire des réseaux de dominance, des classements et des classes de référence.

La première section détaille les outils de mesure de la production scientifique et de leur qualité. La seconde section présente les relations de dominance et leurs fondements. La troisième montre comment ces relations deux à deux peuvent être utilisées pour produire plusieurs outils d'analyse tels que les réseaux de dominance, les pseudo classements et les classes de référence. Dans la quatrième section nous présentons l'application de ces outils aux premières universités de recherche des États-Unis et nous proposons quelques éléments

²Pour des développements plus techniques, le lecteur pourra se référer aussi à Carayol et Lahatte (2014).

³Une autre originalité réside dans l'exploration de classes de fonctions convexes alors que, travaillant sur des fonctions d'utilité, les applications classiques de la dominance stochastique en économie retenaient l'hypothèse alternative de concavité.

de comparaisons avec le classement ARWU.

2 Mesures de la production scientifique

Considérons un échantillon I de n institutions de recherche indexées par $i = 1, \dots, n$ et notons a un article de l'ensemble A de tous les articles produits par ces institutions. Une mesure d'impact $x_a \in \mathbb{R}^+$ est associée à chaque article $a = 1, \dots, n_i$ d'une institution i , n_i étant le nombre d'articles publiés par cette dernière. La production, dite en comptes entiers, d'une institution i est caractérisée par le $1 \times n_i$ vecteur $x_i := (x_1^i, x_2^i, \dots, x_a^i, \dots, x_{n_i}^i)$.

2.1 Quantité en comptes fractionnaires

Néanmoins, nous souhaitons apprécier plus précisément, pour chaque article et pour chaque discipline, la contribution réelle de l'institution. Pour ce faire, nous utilisons le calcul dit "en comptes fractionnaires" utilisé par les scientomètres. Il s'agit de fractionner chaque article sur les institutions et les disciplines impliquées, en tenant compte des contraintes spécifiques des bases de données de publications. Techniquement, le score de l'institution i associé à la publication d'un article a sera donné par :

$$p_{i,a}^k = \frac{\#\{i \in \Delta(a)\}}{\#\Delta(a)} \times \frac{1\{k \in d(j(a))\}}{\#d(j(a))}, \quad (1)$$

avec $\#\{.\}$ le cardinal de l'ensemble défini entre crochets, $\#$ le cardinal et $1\{.\}$ est une fonction indicatrice qui prend la valeur 1 si l'expression entre crochets est vérifiée et 0 sinon. L'ensemble des références aux institutions des auteurs de a étant donné par $\Delta(a)$, le premier terme de la partie droite de l'équation donne le poids de l'institution i dans l'article a . Le deuxième terme donne la part de la discipline $k \in K$ dans l'article considéré. Il utilise des informations relatives aux affectations disciplinaires des journaux en l'absence d'affectation directe des articles sur les disciplines dans les bases bibliographiques. $j(a)$ indique le journal dans lequel a été publié a , et $d(j)$ renvoie l'ensemble des disciplines d'affectation du journal j .

Désormais, nous souhaitons pouvoir comptabiliser la production totale d'une université dans une discipline pour tout niveau d'impact possible. Nous montrons, dans la section suivante, comment nous dérivons l'appréciation de la qualité des articles en fonction de l'impact. Pour un niveau d'impact x donné, la production d'une institution i dans un champ scientifique k , notée $f_i^k(x)$, est mesurée par

$$f_i^k(x) := \sum_{a=1, \dots, n_i} 1\{x_a^i = x\} \times p_{i,a}^k. \quad (2)$$

$f_i^k(x)$ est non négatif et devient nul en une valeur plafond d'impact qui dépend de l'institution i et du domaine k . Ainsi, la distribution conditionnelle de l'output de recherche d'un acteur i dans un domaine k , est donnée par $\{f_i^k(x) \mid \forall x \in \mathbb{R}^+\}$.

2.2 Qualité

L'impact des articles sera ici appréciée via trois indices différents, tous basés sur des décomptes des citations reçues par ses articles directement ou par les journaux.

Le premier est le nombre de citations reçues sur une période donnée après publication. Un tel indicateur, dit de visibilité directe, est basé sur le décompte du nombre de références faites aux articles considérés. Il est très intuitif, mais pas suffisant - les chercheurs se plaignent souvent du fait que leurs "meilleurs" articles ne sont pas les plus cités et il arrive que certains articles soient cités bien au delà de leur contribution réelle. Il peut ne pas réellement mesurer l'usage effectif de l'article cité.

Une autre option consiste à utiliser le facteur d'impact du journal qui correspond au nombre moyen de citations reçues sur une période donnée par les articles publiés dans ce journal. Cet indicateur indirect de l'impact d'un article traduit plutôt la capacité à publier dans des journaux plus ou moins cités en moyenne, et donc plus ou moins prestigieux.

Ces deux premiers indices présentent l'inconvénient de favoriser, en termes d'impact, les spécialités ou les sous-disciplines les plus saillantes d'une discipline. Le facteur d'impact relatif, troisième mesure proposée ici, pallie un tel biais. C'est le facteur d'impact du journal rapporté au facteur d'impact de sa (ou ses) spécialité(s) scientifique(s) de référence. Un tel indice semble être particulièrement utile quand on analyse la production scientifique d'institutions qui sont spécialisées dans des sous-domaines dont la visibilité moyenne n'est pas très élevée. Il permet en outre de prendre en compte la diversité des pratiques de citation dans les différentes spécialités d'une même discipline (par exemple, le fait qu'en mathématiques, la sous-catégorie ma-thématiques fondamentales est moins citée en moyenne que la sous-catégorie mathématiques appliquées).

Une fois que l'on a choisi une mesure, il pourrait sembler naturel de l'utiliser directement comme mesure de la qualité. Nous écartons toutefois cette hypothèse du fait de la variabilité de cet indice d'une discipline scientifique à l'autre (due à des différences de pratiques de citation ou de taux de couverture des bases bibliographiques). Aussi, nous proposons de normaliser la qualité des articles en se basant sur leur position dans la distribution au sein de leur discipline. La qualité d'un article a appréciée dans la discipline k , notée s_a^k sera égale au plus grand s , tel que sa mesure d'impact, x_a , est au moins aussi élevé que celui de $100 \times s\%$ des articles publiés dans la discipline k . Autrement dit, étant donné $\Phi^k(\cdot)$ la fonction de répartition de la production scientifique dans la discipline k , selon une mesure d'impact ordonnée, la qualité d'un article a est la probabilité qu'un article tiré au hasard

dans la discipline soit de qualité inférieure: $s_a^k = \Pr(X^k < x_a) = \Phi^k(x_a)$. La qualité est donc une mesure nécessairement comprise entre zéro et un (exclu). Il s'agit simplement d'une normalisation disciplinaire de la qualité qui permettra l'agrégation des articles sur les disciplines scientifiques pour tout niveau de qualité donné. Cette normalisation n'aura aucune incidence dans le cas de comparaisons intra-disciplines.

3 Relations de dominance

Cette section présente la notion de fonction de valorisation de la qualité puis les relations de dominance, développées dans un premier temps dans un cadre monodisciplinaire. Elles sont ensuite étendues au cadre toutes disciplines. Ce sont les éléments théoriques clés nécessaires à l'établissement de comparaisons plus systématiques développées dans la section suivante.

Notons $v(\cdot) : S \rightarrow \mathbb{R}$ la fonction de valorisation qui attribue une valeur à un article par rapport à sa qualité, $S = [0, 1[$ étant l'ensemble de tous les niveaux de qualité possibles. La valeur de la performance totale d'une institution i dans un domaine k est donnée par

$$V_i^k = \int_0^1 v(s) f_i^k(s) ds. \quad (3)$$

3.1 Dominance intra-disciplines

Trois types de relations de dominance sont abordées : la dominance forte, la dominance standard et la dominance faible.

Definition 1 *La production scientifique de l'institution i dans le domaine k (a) domine fortement, (b) domine ou (c) domine faiblement, à l'ordre $\phi \in]0, 1]$, celle de l'institution j , notés (a) $i \blacktriangleright_k^\phi j$, (b) $i \triangleright_k^\phi j$ ou (c) $i \succeq_k^\phi j$, si $\int_{1-\phi}^1 v(s) \cdot f_i^k(s) ds \geq \int_{1-\phi}^1 v(s) \cdot f_j^k(s) ds$ pour toute fonction $v(\cdot)$ (a) positive (b) positive et non-décroissante (c) positive, faiblement convexe et telle que $v(0) = v'(0) = 0$.*

Dans notre modèle, chaque type de relation de dominance est associé à une hypothèse différente sur la fonction de valorisation. La notion de dominance forte requiert la non négativité de la fonction $v(s)$, en d'autres termes aucun article ne saurait contribuer négativement à la performance scientifique d'une institution. Cette propriété de non négativité s'avère être nécessaire pour chaque approche différente de la notion de valorisation, elle attribue un rôle très faible aux mesures d'impact. Elle peut ainsi être associée à une valorisation du *volume* de publication. Pour la dominance standard, $v(s)$ doit être non négative et non décroissante, ce qui veut dire que dans un domaine donné on attribue la valeur la plus élevée aux articles dont l'impact est le plus grand. Cette deuxième propriété semble cohérente avec les

différentes approches possibles de la valeur de la production scientifique. Elle correspond à une valorisation de la *qualité*. Outre les deux propriétés précédentes, l'hypothèse de convexité de $v(s)$ est retenue dans la dominance faible (la non décroissance étant impliquée par les autres hypothèses). Cette dernière hypothèse implique que $v(s)$ donne un poids proportionnel ou plus que proportionnel aux articles de plus forte qualité. La convexité peut être considérée comme une hypothèse largement partagée puisque les CEO des universités et leur conseil d'administration souhaitent la présence de leur institution dans les segments de forte visibilité académique. Elle correspond à une valorisation de l'*excellence*. La condition supplémentaire selon laquelle un article de qualité nulle a une valeur nulle est un pendant logique (à gauche) à l'hypothèse de convexité.

L'ordre de la dominance nous permet d'établir ces relations de dominance sur des segments de qualité haute, dont l'ampleur est ajustable, c'est-à-dire de limiter les comparaisons à des parts variables des meilleurs articles dans une discipline donnée. Le paramètre ϕ permet de définir le niveau seuil de qualité au dessous duquel les publications ne seront pas prises en compte. Si $\phi = 1$ alors tous les articles sont comptabilisés. Plus le segment de part mondiale retenue est sélectif (ϕ petit), plus on se limite aux segments de plus forte visibilité en négligeant les articles de qualité plus faible (inférieure à $1 - \phi$).

Les conditions nécessaires et suffisantes à l'existence de chaque relation de dominance, basées sur les données de publication et d'impact, sont présentées dans la proposition suivante:

Proposition 1 *i) $i \triangleright_k^\phi j$ ssi $\forall u \in [1 - \phi, 1]$, $[f_i^k(u) - f_j^k(u)] \geq 0$;*
ii) $i \triangleright_k^\phi j$ ssi $\forall u \in [1 - \phi, 1]$, $\int_u^1 [f_i^k(s) - f_j^k(s)] ds \geq 0$;
iii) $i \succeq_k^\phi j$ ssi $\forall u \in [1 - \phi, 1]$, $\int_u^1 \int_s^1 [f_i^k(t) - f_j^k(t)] dt ds \geq 0$.

(Preuves: Extensions directes de Carayol et Lahatte, 2014, Théorèmes 1 à 3)

La proposition permet d'établir empiriquement les relations de dominance. Pour la dominance forte, l'institution dominante doit produire toujours plus que l'institution dominée pour tous les niveaux de qualité. Le volume de production joue donc un rôle important en dominance forte puisqu'une institution ne peut dominer fortement une autre si cette dernière a plus de publications pour au moins un niveau quelconque de qualité. Notons que la dominance forte traite tous les niveaux de qualité de la même manière (aucune prime n'est accordée aux articles les plus cités). La relation de dominance standard attribue une valeur croissante implicite à la visibilité, puisqu'elle impose que la performance cumulée de l'institution dominante soit supérieure à celle de l'institution dominée. Elle véhicule donc l'idée qu'un article vaut toujours au moins autant qu'un autre article ayant un niveau d'impact plus faible. Ce régime de compensation permet d'établir la domination d'une institution qui a une performance relative plus élevée pour certains niveaux donnés de qualité. Quant à la dominance faible, elle donne un rôle prépondérant à la qualité, en pondérant implicitement la quantité

par la qualité. Une institution ne peut pas être dominée par une autre si sa performance en quantité, pondérée par sa qualité pour tout segment supérieur de qualité, est supérieure. La dominance faible dépend ainsi moins de la quantité, puisqu'elle accorde une importance maximale aux segments de plus forte visibilité.

3.2 Dominance toutes disciplines

Pour les comparaisons toutes disciplines, la normalisation de la qualité présentées précédemment nous permet d'agrèger simplement la valeur des productions des différentes disciplines, en contrôlant pour les différentes pratiques de citation entre disciplines. La définition des différentes formes de dominance au niveau toutes disciplines est ainsi immédiate.

Definition 2 *La production scientifique toutes disciplines de l'institution i (a) domine fortement, (b) domine ou (c) domine faiblement à l'ordre $\phi \in]0, 1]$ celle de l'institution j , notée (a) $i \blacktriangleright^\phi j$, (b) $i \triangleright^\phi j$ ou (c) $i \succeq^\phi j$, si $\int_{1-\phi}^1 v(s) \cdot [\sum_k f_i^k(s)] ds \geq \int_{1-\phi}^1 v(s) \cdot [\sum_k f_j^k(s)] ds$ pour toute fonction $v(\cdot)$ (a) positive (b) positive et non-décroissante (c) positive, faiblement convexe et telle que $v(0) = v'(0) = 0$.*

Les trois résultats de la proposition suivante fournissent les conditions nécessaires et suffisantes à l'existence de relation de dominance pour toutes les disciplines. Cette proposition se déduit assez simplement de la précédente car il est équivalent d'agrèger la valeur des productions totales des différentes disciplines et d'agrèger les productions disciplinaires à niveau de qualité donné avant d'en calculer la valeur. Bien que très proche de la Proposition 1, nous présentons cette proposition dans un soucis d'exhaustivité et dans le but d'établir clairement les notations.

Proposition 2 *i) $i \blacktriangleright^\phi j$ ssi $\forall u \in [1 - \phi, 1], \sum_k [f_i^k(u) - f_j^k(u)] \geq 0$;
 ii) $i \triangleright^\phi j$ ssi $\forall u \in [1 - \phi, 1], \int_u^1 [\sum_k (f_i^k(s) - f_j^k(s))] ds \geq 0$;
 iii) $i \succeq^\phi j$ ssi $\forall u \in [1 - \phi, 1], \int_u^1 \int_s^1 [\sum_k (f_i^k(t) - f_j^k(t))] dt ds \geq 0$.*

(Preuves: S'obtient assez simplement à partir de la Proposition 1)

4 Réseau, classements et classes de références

Une relation de dominance ne peut être établie entre n'importe quelle paire d'institutions. Nous montrons dans cette section que l'on peut néanmoins utiliser les relations de dominance, telles que précédemment définies, pour classer des universités et construire des groupes de référence, ou groupes de pairs. Pour parvenir à ce résultat, il est utile d'introduire la notion de réseau de dominance. Une méthode de classement est ensuite proposée, ainsi que la notion de classe de référence.

4.1 Réseaux de dominance

Les réseaux vont nous servir à décrire et à représenter de manière robuste la structure des relations de dominance entre les institutions. Notons \succ une des relations de dominance susmentionnées ($\succ \in \left\{ \blacktriangleright_k^\phi, \triangleright_k^\phi, \underline{\triangleright}_k^\phi, \blacktriangleright^\phi, \triangleright^\phi, \underline{\triangleright}^\phi \right\}, \forall \phi \in]0, 1[$). Nous pouvons définir le réseau de dominance orienté \vec{g}_\succ associé à la relation de dominance \succ et l'ensemble des institutions I comme le graphe des liens de dominance entre les acteurs. Formellement on peut écrire $\forall i, j \in I, ij \in \vec{g}_\succ$ if $i \succ j$.

Comme la propriété de transitivité est toujours vérifiée (si $i \succ j$ et $j \succ h$, alors $i \succ h$), les triplets de dominance transitifs n'apportent pas d'informations supplémentaires dans \vec{g}_\succ . La représentation graphique des liens de dominance serait plus convenable à partir d'un réseau de dominance ajusté \vec{g}'_\succ , déduit de \vec{g}_\succ en éliminant de tels triplets.⁴

4.2 Pseudo-classements

Une relation de dominance ne peut, le plus souvent, pas être établie pour toute paire d'institutions considérée et par conséquent un classement ne saurait se déduire directement des relations de dominance observées. Nous pouvons néanmoins construire une procédure plus indirecte de classement. Nous parlons alors de pseudo-classement, défini sur la base de scores attribués aux acteurs et relatifs à la relation de dominance choisie. Nous proposons ici un pseudo-classement construit sur deux critères.⁵ Le premier est un critère dominant et correspond au nombre d'autres institutions dominées. Le second critère est le nombre d'autres institutions de I qui dominent l'institution considérée (le score est pris ici par ordre décroissant).

Definition 3 Soient $n_i = \#\{j \in I | j \neq i, i \succ j\}$, $m_i = \#\{j \in I | j \neq i, j \succ i\}$. Un classement $\sigma_I = (\sigma_i)_{i=1, \dots, n}$ est un pseudo- \succ -classement sur un ensemble I si, $\forall i, j \in I : \sigma_i < \sigma_j$ si $n_i > n_j$. Si $n_i = n_j$, alors $\sigma_i < \sigma_j$ ssi $m_i < m_j$.

Les pseudo-classements présentent l'avantage d'être toujours réalisables sur la base de n'importe quelle relation de dominance. Il faut cependant, dans la pratique se garder de construire des pseudo-classements lorsque la proportion de relations de dominance que l'on peut établir sur le nombre relations de dominance possibles est suffisamment élevée. Nous nommons cette mesure le taux de complétude. Cette mesure, pour une relation de dominance \succ donnée et un ensemble I d'institutions, est donné par :

$$C_{I, \succ} = \frac{\#\{(i, j) \in I^2 | i > j, i \succ j \text{ ou } j \succ i\}}{\#\{(i, j) \in I^2 | i > j\}} = \frac{\#\{(i, j) \in I^2 | i > j, i \succ j \text{ ou } j \succ i\}}{n(n-1)/2}, \quad (4)$$

⁴Formellement, $ij \in \vec{g}'_\succ$ si $ij \in \vec{g}_\succ$ mais $\forall i, j, k \in I$, si $ij, ik, jk \in \vec{g}_\succ$ et $kj \notin \vec{g}_\succ$ alors $ik \notin \vec{g}'_\succ$.

⁵Carayol et Lahatte (2014) proposent une autre mesure assez proche, et la caractérisent axiomatiquement.

qui est la proportion de paires d'acteurs distincts comparables selon la relation de dominance \succ .

4.3 Classes de référence

Le fait de ne pas pouvoir établir une relation de dominance entre deux institutions amène à considérer que ces dernières sont proches mais non hiérarchisables, c'est à dire similaires et pourtant suffisamment différentes. Cette impossibilité d'établir une relation de dominance indique que chacune des deux institutions a des points forts à faire valoir vis-à-vis de l'autre. Nous dirons que ces institutions ont entre elles le statut de "pair". Pour une institution i donnée, nous pouvons donc constituer sur la base de cette idée l'ensemble noté $c_i^\succ \subseteq I$ des "pairs" de i . Nous parlons de classe de référence de i associée à la relation de dominance \succ .⁶

Definition 4 $\forall k \in I, k \in c_i^\succ \subseteq I$ si $i \not\succeq k$ et $k \not\succeq i$, ou si $i \succ k$ et $k \succ i$

Notons que chaque institution appartient à sa propre classe de référence et que la relation est réciproque dans le sens où $k \in c_i^\succ$ ssi $i \in c_k^\succ$. Une autre propriété intéressante des classes de référence est que plus la relation de dominance associée est faible, plus la taille du groupe de référence est réduite. Il est donc possible d'ajuster la taille de l'ensemble des pairs d'une institution en renforçant ou en affaiblissant la relation de dominance associée.

5 Application aux universités de recherche américaines

Nous illustrons notre méthodologie à partir des données bibliométriques d'un échantillon des premières universités américaines. Les données sont présentées dans un premier temps avant de discuter les résultats obtenus.

5.1 Données

L'échantillon est constitué de 112 universités américaines, apparaissant dans les meilleures positions du classement mondial des universités produit par l'université Jiao-Tong de Shanghai. Les publications de ces établissements ont été identifiées dans la version off-line de la base Thomson-Reuter-Web of Science (WoS) maintenue par l'OST dans le cadre d'une collaboration de recherche entre l'OST et l'université de Shanghai sur la base de tokens lexicaux empruntés au groupe ARWU.⁷ Étant donné quelques contraintes liées à la disponibilité des données de publication et de citations, nous avons choisi d'utiliser un échantillon de données

⁶Voir Carayol et al. (2012) pour une étude dédiée spécifiquement aux classes de référence, portant sur un autre échantillon d'universités.

⁷Voir Cheng et Zitt (2009) pour des détails.

agrégées sur 2003, 2004 et 2005, avec une fenêtre de décompte de citations de 3 années. Sur la base de ces options, la production scientifique des 112 établissements considérés dans cette analyse totalise 329,910 articles. Les scores de citations reçues par ces articles vont de 0 à 1,292 et le facteur d'impact à trois ans des journaux dans lesquels ils sont publiés varie de 0 à 27.6.

L'affectation des articles à des domaines scientifiques est basé sur le regroupement des journaux en 9 grandes disciplines. Les 8 premières (cf. Tableau 1) correspondent à des champs scientifiques distincts alors que la dernière, appelée multidisciplinaire, regroupe des journaux qui publient des articles pouvant être assignés à différentes disciplines. La non prise en compte des articles de cette catégorie introduirait un biais non négligeable puisqu'il éliminerait une part des articles importants de plusieurs disciplines. Trois de ces journaux (Proceedings of the National Academy of Sciences USA, Science Nature) sont très prestigieux et leurs articles ont été affectés un à un à leur discipline principale de rattachement (sur une base lexicographique). Nous ne considérons pas les disciplines des sciences humaines et sociales car elles ne sont pas couvertes de manière suffisamment exhaustive et régulière par la base WoS.

L'impact scientifique des articles des établissements est considéré au travers des trois indices d'impact exposés dans la Section 2.

5.2 Résultats

La Table (2) présente les taux de complétude par discipline (et pour toutes les disciplines) définis dans l'équation (4), associés aux relations de dominance \blacktriangleright , \triangleright , et $\underline{\triangleright}$, pour les trois mesures d'impact, lorsque toutes les publications sont considérées ($\phi = 1$). Ces taux de complétude sont toujours en dessous de l'unité, ce qui implique que seuls des pseudo-classements sont possibles. Cependant, les taux de complétude des relations de dominance standard et dominance faible atteignent des niveaux suffisants (au dessus de 80%) pour permettre de tels pseudo-classements.

Les Tableaux (3), (4) et (5) présentent les résultats obtenus pour les 50 meilleures universités au niveau toutes disciplines (respectivement lorsque l'impact est mesuré par les citations directes, le facteur d'impact et le facteur d'impact relatif). Dans chaque tableau et pour chaque type de dominance, sont reportés le rang dans le pseudo-classement (σ_i) et la performance dans le critère dominant (n_i) lorsque toutes les publications sont prises en compte ($\phi = 1$).⁸

⁸Par manque de place, tous les résultats ne peuvent être présentés dans l'article. Les résultats complets sont cependant à la disposition de la communauté sur la page internet suivante: <http://ncarayol.u-bordeaux4.fr/ranking.html>.

Bien que les différents classements obtenus soient globalement proches, certaines institutions ont des rangs très différents selon le type de relation de dominance utilisée. Par exemple, l’université Harvard est classée première à la fois pour la dominance standard et la dominance faible (l’impact étant mesuré par les citations, cf Tableau (3) alors qu’elle n’est classée qu’en troisième position lorsque la dominance forte est utilisée, classement dans lequel elle est devancée par l’Université du Wisconsin et l’Université du Michigan. De même, le MIT n’est classé qu’en trente huitième position dans le classement fondé sur la relation de dominance forte, alors qu’il est classé dans les dix premiers pour les deux autres formes de dominance. Ces différences illustrent les effets de la prise en compte différentielle du volume, de la qualité ou de l’excellence selon les classements: comme on l’a vu plus haut, la dominance forte prend pleinement en compte l’effet pur du volume de publication, alors que la dominance standard et surtout la dominance faible font intervenir l’impact des publications, permettant à des institutions de taille éventuellement plus modeste de voir leur niveau d’excellence pleinement valorisé.

En outre, certaines institutions voient leur rang varier sensiblement en fonction de la mesure d’impact utilisée. Par exemple, l’Université Berkeley se classe cinquième (en dominance et en dominance faible) lorsque l’impact est mesuré par les citations, alors qu’elle se classe en seconde position lorsque le facteur d’impact des journaux est utilisé. Ceci indique que les chercheurs de Berkeley sont particulièrement performants dans leur capacité à publier des articles dans les journaux les plus importants de leur discipline. Par ailleurs, si l’on utilise le facteur d’impact relatif, Berkeley passe en quatrième position révélant ainsi que les chercheurs de Berkeley, ne sont pas seulement excellents dans leur capacité à publier dans les meilleurs journaux de leur spécialité, révélé par le classement selon le facteur d’impact relatif, mais aussi qu’ils le font dans des spécialités plutôt visibles, ce qui leur donne un avantage pour les mesures d’impact direct.

Les pseudo-classements ne rendent compte que d’une partie de l’information disponible, et il est souvent utile d’explorer également la structure des réseaux de dominance. La Figure 1 présente le réseau de dominance faible (impact mesuré par les citations) ajusté (\bar{g}'_{\geq}) parmi les universités les lieux classés selon le pseudo-classement associé. Nous observons qu’en dessous de l’Université Harvard, la structure de dominance fait apparaître une certaine complexité. En effet, aucune relation de dominance n’a pu être établie entre l’Université du Michigan (à Ann Harbor), l’Université Washington de Seattle, UCLA et l’Université Stanford. Cependant, la structure aval permet de voir que Stanford est mieux classée que les trois autres parce qu’elle domine Berkeley et le MIT, ce que les autres ne parviennent pas à faire.

Lorsque le facteur d’impact est utilisé pour apprécier l’impact des articles (Figure 2), on observe un déplacement de Berkeley dans la structure de dominance. En effet, Berkeley échappe maintenant à la domination de Stanford et domine désormais le MIT. Cette évolution

est partiellement remise en cause lorsque le facteur d'impact relatif est utilisé (cf. figure 3). En outre, d'autres universités telles que Seattle voient leurs positions réévaluées dans ce contexte. Cette université domine désormais UCLA qui apparaît donc relativement moins performante lorsqu'on se concentre sur sa capacité à placer des articles dans les meilleures revues de chaque spécialité.

Pour un type de dominance donné, deux institutions qui n'ont entre elles aucune relation de dominance, sont dans leurs classes de références respectives. Ceci peut être déduit de la lecture des réseaux de dominance ajustés, par le fait qu'il n'y a pas de chemin entre ces deux institutions. Les classes de référence sont présentées dans les Tables (6) et (7). La classe de référence d'une institution comprend toutes les institutions qui ne peuvent se comparer à elle, c'est à dire qu'elles sont à la fois proches et différenciées. Par exemple, Stanford et Seattle qui n'ont pas, entre elles, de relation de dominance faible (impact mesuré par les citations), appartiennent chacune à la classe de référence de l'autre. Lorsque l'on étudie la structure de la production scientifique de ces deux institutions, on s'aperçoit que, si ces deux universités ont des productions scientifiques proches leur permettant de se situer toutes les deux au sommet de la hiérarchie universitaire, leur structure de production au regard des citations directes sont différentes. Stanford a des performances relativement plus élevées parmi les publications les plus citées, alors que Seattle domine significativement dans des segments d'impact plus faible. Ainsi, lorsque l'on se limite aux publications faisant partie des dix pourcent les plus cités de chaque discipline, Seattle est dominée par Stanford: les deux institutions ne font plus partie de leurs classes de référence respectives.

5.3 Une brève comparaison avec le classement ARWU

Afin de voir les spécificités de notre approche, il peut être utile de comparer les résultats que nous obtenons avec d'autres classements. Pour cela, nous avons collecté les données du classement dit de Shanghai (ARWU), obtenu pour l'année 2005 (dernière année prise en compte dans notre classement). Si nous ne pouvons ici présenter toutes les spécificités de ce classement, il faut cependant rappeler que ce classement utilise plusieurs indicateurs qui sont ensuite normalisés puis agrégés. Il faut voir que le recours à plusieurs des indices utilisés sert précisément à rendre compte de la qualité.

Certains de ces indicateurs utilisent des données de publications comme dans notre classement, mais elles sont manipulées de différentes manières, multipliant les points de vue et les approches: nombre de chercheurs parmi les "Highly cited scientists" identifiés par l'ISI-Thomson-Reuters (HiSci), nombre d'articles publiés dans Science et Nature (N&S), et le nombre total d'articles publiés (PUB). HiSci est une mesure de l'excellence scientifique des personnels en poste (approche en stock), N&S donne la capacité de publier dans deux revues pluridisciplinaires prestigieuses, et PUB est une mesure de volume (en flux). Deux autres

mesures sont relatives à l'attribution des prix Nobels et des médailles Fields: Alumni compte le nombre de personnes formées dans l'établissement et qui ont reçu ces distinctions, et Award compte les personnes en poste dans l'établissement ayant reçu ces distinctions (avec un facteur de dépréciation pour les deux mesures). Une dernière mesure (PCP) utilise le score pondéré aux cinq premiers indices divisé par le nombre de personnel en recherche pour donner un score par tête.

Nous observons (cf. Table 9) que, parmi les 20 premières universités US de notre classement basé sur la dominance faible et construit en utilisant les citations directes pour apprécier la qualité, toutes sont classées parmi les 25 premières universités US selon le classement ARWU. Il faut voir que cette similarité est relativement surprenante, si l'on considère que notre travail est réalisé avec une forte économie de moyens, d'indices et de sources comparativement au classement ARWU.

On s'intéresse maintenant aux écarts les plus importants constatés entre les deux classements afin d'apprécier leurs différences de point de vue. Nous nous concentrons ainsi sur les classements obtenus, d'un côté par les universités de Princeton et Caltech qui sont moins bien classées dans notre classement que dans celui d'ARWU, et de l'autre par l'Université de Washington (Seattle) et par l'Université du Michigan à Ann Harbor, qui sont mieux classées dans notre classement que dans ARWU (cf Table 10). Nous observons que si Caltech et Princeton sont si bien classées dans ARWU, c'est tout d'abord en raison de leur performance sur des variables non directement liées aux publications: leurs meilleurs classements sont obtenus dans des indices Alumni, Award (qui sont liés à l'obtention de distinctions honorifiques) et PCP qui donne une prime aux institutions de petite taille. En ce qui concerne les données de publication, Princeton a un bien un excellent résultat dans HiSci et Caltech dans N&S, mais selon le critère PUB, ces deux institutions sont moins bien classées que dans notre classement. Examinons maintenant le cas des deux institutions qui sont mieux classées dans notre classement que dans ARWU. Si l'on ne considère pas les critères Alumni, Award et PCP, pour se concentrer sur les mesures de publication, on voit que l'Université du Michigan à Ann Harbor, a aussi un très bon classement en moyenne (5ième, 20ième et second) qui correspond à peu près à nos résultats. C'est dans les trois autres critères, Alumni, Award et PCP, que l'University de Washington (Seattle) a ses plus mauvais classements alors qu'elle a un très bon classement en volume de publication (PUB). La qualité de ses publications, qui explique largement son très bon classement dans notre approche, ne se décèle pas immédiatement dans les scores de cette université en HiSci et N&S.

Une manière immédiate de réduire les différences entre notre approche et celle de ARWU (si cela s'avérait souhaitable) consisterait à prendre un ϕ réduit ce qui amène à ne considérer qu'une partie de la production scientifique et ainsi donner un poids plus faible au volume de production scientifique.

6 Conclusion

Face à l'expansion récente des exercices de classements d'universités, il nous est apparu important de contribuer à mieux fonder leur appréciations, sur des bases empiriques mais surtout théoriques, afin de contribuer à mieux aider les utilisateurs de ces classements et les responsables des institutions classées à en tirer avantage.

Cet article a proposé une théorie permettant d'établir différentes relations de dominance entre universités sur la base de leur production d'articles de recherche et de l'impact de ces articles. Nous avons illustré son application sur un large échantillon des premières universités de recherche américaines.

Cette théorie pourrait être appliquée à de nombreux contextes dans lesquels un évaluateur, ou une communauté d'évaluateurs, souhaiterait(ent) comparer des individus ou des institutions, en fondant leurs jugements sur des principes simples, explicites et ajustables valorisant de différentes manières la quantité et la qualité de leur production.

Références

- Anderson, T. R., Hankin, R. K. S., Killworth, P. D., 2008, Beyond the Durfee square: Enhancing the h-index to score total publication output, *Scientometrics* 76, 577-588.
- Atkinson, A. B., 1970, On the measurement of inequality, *Journal of Economic Theory* 2, 244-263.
- Carayol, N., Filliatreau, G., Lahatte A., 2012, Reference classes: A tool for benchmarking universities research, *Scientometrics* 93, 351-371.
- Carayol, N., Lahatte A., 2014, Dominance relations and universities ranking, mimeo.
- Cheng Y., Zitt M., 2009, Towards a global ranking by size-independent bibliometric measures: An experiment on selected US, French and Chinese Universities, mimeo OST.
- Dasgupta, P., David, P.A., 1994, Toward a new economics of science. *Research Policy* 23, 487-521.
- Dasgupta P., Sen A., Starrett D., 1973, Notes on the measurement of inequality, *Journal of Economic Theory* 6, 180-187.
- Egghe, L., 2006, Theory and practice of the g-index, *Sientometrics* 69, 131-152.
- Garfield, E. 1956, Citation Indexes for Science, *Science* 123, 61-62.
- Hadar, J., Russell, W. R., 1969, Rules for ordering uncertain prospects, *American Economic Review* 59, 25-34.
- Hanoch, G., Levy, H., 1969, The efficiency analysis of choices involving risk, *Review of Economic Studies* 39, 335-346.

- Hirsch, J. E., 2005, An index to quantify an individual's scientific research output, *Proceedings of the National Academy of Sciences of the USA* 102, 16569-16572.
- Lubrano, M., Protopopescu, C., 2004, Density inference for ranking european research systems in the field of economics, *Journal of Econometrics* 123, 345-369.
- Marchant, T. 2009, An axiomatic characterization of the ranking based on the h-index and some other bibliometric rankings of authors, *Scientometrics* 80, 325-342.
- Merton R.K., 1973, *The sociology of science. Theoretical and empirical investigations*, University Press of Chicago, Chicago.
- Pinski, G., Narin, F. 1976. Citation influence for journal aggregates of scientific publications - theory, with application to literature of physics, *Information Processing & Management* 12, 297-312.
- Stephan, P.E., 1996. The economics of science, *Journal of Economic Literature* 34, 1199-1235.
- Price, de Solla, D.J., 1963, *Little Science, Big Science*, New York: Columbia University Press.
- Quirk, J.P., Saposnick, R., 1962, Admissibility and measurable utility functions, *Review of Economic Studies* 29, 140-146.
- Rothschild, M., Stiglitz, J. E., 1970, Increasing Risk: I. A definition, *Journal of Economic Theory* 2, 225-243.
- Woeringer, G. J., 2008, An axiomatic characterization of the Hirsch-index, *Mathematical Social Sciences* 56, 224-232.

7 Annexes

Table 1: Disciplines scientifiques.

k	Discipline
1	Biologie fondamentale
2	Recherche médicale
3	Biologie appliquée - écologie
4	Chimie
5	Physique
6	Sciences de l'univers
7	Sciences pour l'ingénieur
8	Mathématiques

Table 2: Taux de complétude des relations de dominance.

Relation de dominance	Citations			Facteur d'impact			Impact relatif		
	►	▷	⊳	►	▷	⊳	►	▷	⊳
Biologie fondamentale	.540	.786	.829	.076	.768	.818	.110	.772	.816
Recherche médicale	.705	.853	.880	.220	.817	.851	.278	.831	.855
Biologie appliquée - écologie	.523	.764	.802	.108	.728	.771	.104	.711	.760
Chimie	.518	.786	.828	.054	.732	.770	.051	.751	.795
Physique	.605	.830	.857	.082	.739	.773	.095	.770	.805
Sciences de l'univers	.599	.788	.821	.127	.740	.776	.158	.757	.796
Sciences pour l'ingénieur	.629	.807	.843	.161	.728	.774	.204	.784	.825
Mathématiques	.432	.667	.716	.054	.489	.548	.055	.574	.623
Toutes disciplines	.162	.826	.863	.229	.780	.816	.272	.798	.828

Figure 1: Réseau de dominance faible ajusté parmi les universités U.S. les mieux classées (toutes disciplines), quand l'impact est mesuré par les citations directes.

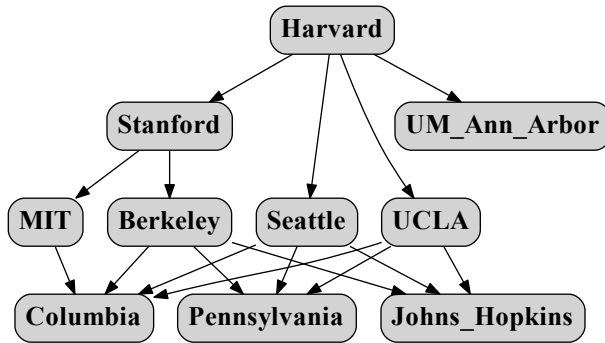


Figure 2: Réseau de dominance faible ajusté parmi les universités U.S. les mieux classées (toutes disciplines), quand l'impact est mesuré par le facteur d'impact.

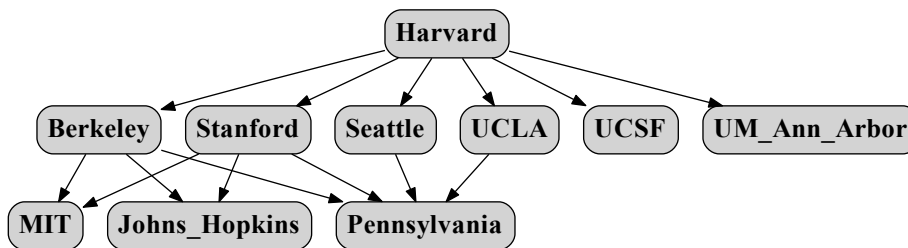


Figure 3: Réseau de dominance faible ajusté parmi les universités U.S. les mieux classées (toutes disciplines), quand l'impact est mesuré par le facteur d'impact relatif.

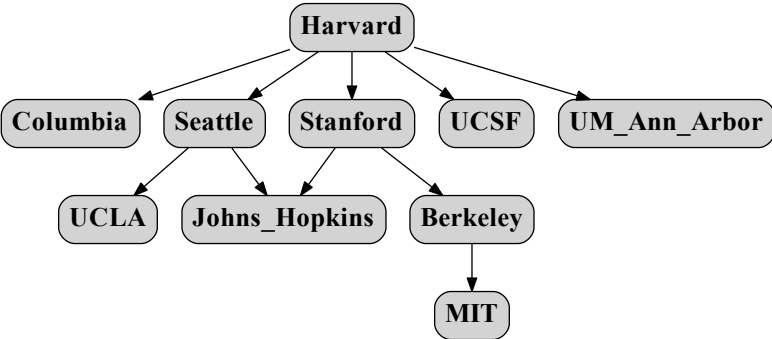


Table 3: Top 50 du pseudo ranking des universités U.S. (toutes disciplines).

	Relations de dominance basées sur les citations					
	▶		▷		⊇	
	Rang	#Dom	Rang	#Dom	Rang	#Dom
	ri	ni	ri	ni	ri	ni
Harvard	3	48	1	111	1	111
Stanford	5	46	2	107	2	107
Seattle	7	42	3	105	3	105
UCLA	5	46	3	105	3	105
Berkeley	12	31	5	104	5	105
UM Ann Arbor	2	50	6	100	8	100
JohnsHopkins	14	26	7	100	7	101
Pennsylvania	17	20	8	98	9	100
MIT	38	7	9	95	6	102
WI Madison	1	54	10	94	13	94
Columbia	13	28	11	93	10	97
Cornell	9	38	12	93	15	94
Twin Cities	4	47	12	93	14	94
UCSD	10	32	12	93	11	96
UCSF	39	6	15	91	12	95
Yale	11	32	16	89	16	91
Duke	18	18	17	88	17	89
Northwestern	28	12	18	84	18	87
Urbana Champaign	15	25	19	82	22	82
Pittsburgh	22	15	20	82	22	82
PA Univ Park	34	9	21	82	24	82
Caltech	49	4	22	81	19	85
UNC	29	11	23	81	20	83
WU St Louis	16	21	24	80	20	83
Mayo Coll Med	81	0	25	80	25	81
UC Davis	8	41	26	78	26	78
Florida	23	14	27	74	28	75
Chicago	20	16	28	73	27	78
Austin	36	9	29	70	31	70
USC	30	10	30	69	33	69
Columbus	23	14	31	68	34	68
Arizona	34	9	32	68	30	71
Texas AM	18	18	33	62	19	62
TX Anderson	84	0	34	61	29	74
Purdue	47	4	35	61	39	63
UC Irvine	20	16	36	60	35	66

Table 4: Top 50 du pseudo ranking des universités U.S. (toutes disciplines).

	Relations de dominance basées sur le facteur d'impact					
	▶		▷		▷	
	Rang	#Dom	Rang	#Dom	Rang	#Dom
	ri	ni	ri	ni	ri	ni
Harvard	1	64	1	111	1	111
Berkeley	10	42	2	105	2	105
Stanford	14	36	2	105	2	105
Seattle	4	54	4	99	4	100
UCLA	7	47	4	99	4	100
UM Ann Arbor	2	60	6	97	9	97
Johns Hopkins	23	21	7	97	6	99
Pennsylvania	12	41	7	97	8	99
MIT	28	16	9	94	6	99
Cornell	6	52	10	94	12	95
UCSD	19	29	11	93	12	95
Columbia	14	36	12	92	11	95
UCSF	38	13	13	91	10	95
Yale	22	24	14	89	14	91
WI Madison	2	60	15	89	15	89
Twin Cities	4	54	16	87	16	88
Duke	38	13	17	86	17	88
Urbana Champaign	13	37	18	84	22	84
Northwestern	31	16	19	84	17	88
UNC	25	19	20	83	20	85
WU St Louis	34	14	21	82	19	87
Caltech	51	6	22	79	21	84
Pittsburgh	14	36	23	77	25	77
PA Univ Park	17	34	24	76	24	78
UC Davis	9	44	25	74	27	75
Chicago	49	7	26	73	23	79
Columbus	10	42	26	73	28	74
Mayo Coll Med	37	13	28	73	26	76
Austin	24	19	29	68	30	68
Arizona	20	24	30	67	31	67
Vanderbilt	43	12	31	64	29	70
Florida	8	46	32	59	37	60
Baylor Coll Med	73	2	33	59	35	61
TX Anderson	87	0	34	58	32	66
NYU	41	12	35	58	34	61
USC	27	17	36	58	38	60

Table 5: Top 50 du pseudo ranking des universités U.S. (toutes disciplines).

Relations de dominance basées sur le facteur d'impact relatif

	▶		▷		▷	
	Rang	#Dom	Rang	#Dom	Rang	#Dom
	ri	ni	ri	ni	ri	ni
Harvard	1	69	1	111	1	111
Stanford	15	41	2	105	2	105
Seattle	4	65	3	104	3	104
Berkeley	9	47	4	103	4	103
UCLA	2	68	5	100	5	100
Johns Hopkins	16	40	6	99	6	100
Pennsylvania	14	43	7	98	7	100
UM Ann Arbor	3	66	8	96	9	96
MIT	19	34	9	95	8	99
Columbia	17	36	10	94	9	96
UCSD	20	33	11	94	11	96
UCSF	30	21	12	92	12	94
Cornell	9	47	13	92	13	93
Yale	25	23	14	90	14	92
WI Madison	5	62	15	87	16	88
Duke	35	16	16	87	15	90
Urbana Champaign	8	48	17	86	20	86
Twin Cities	6	58	18	85	18	87
Northwestern	32	18	19	84	17	88
WU St Louis	33	18	20	83	19	87
UNC	26	23	21	83	21	85
Mayo Coll Med	29	21	22	82	22	83
UC Davis	11	45	23	79	23	80
Pittsburgh	12	44	24	79	24	79
PA Univ Park	17	36	25	75	27	77
Columbus	12	44	26	73	29	73
Florida	7	56	27	72	28	73
Caltech	71	4	28	72	26	77
Chicago	41	14	29	72	25	78
USC	24	24	30	70	31	70
Austin	22	24	31	68	33	68
Vanderbilt	40	15	32	66	30	70
Georgia Inst Tech	44	12	33	62	32	68
NYU	46	12	34	61	34	63
Baylor Coll Med	62	6	35	58	36	60
Purdue	27	22	36	57	41	58

Table 6: Caractéristiques des classes de références.

		toutes disciplines																
		$\phi = 1$						$\phi = .1$										
	Citations			Facteur d'impact			Facteur d'impact relatif			Citations			Facteur d'impact			Impact relatif		
	Moy	Med	Max	Moy	Med	Max	Moy	Med	Max	Moy	Med	Max	Moy	Med	Max	Moy	Med	Max
▶	69.77	74.00	107.00	48.59	52.50	93.00	42.25	44.50	80.00	10.05	9.00	43.00	9.52	9.00	41.00	15.27	15.00	46.00
▷	14.75	14.50	46.00	16.95	17.00	46.00	14.30	14.00	44.00	4.80	4.00	16.00	4.82	4.00	17.00	7.55	6.50	32.00
△	11.41	10.00	42.00	13.63	13.00	44.00	12.32	11.50	42.00	4.73	4.00	16.00	4.71	4.00	17.00	7.36	6.00	28.00

Table 7: Classes de référence du top 10 des universités U.S. (toutes disciplines).

$\triangleright, \phi = 1$, toutes disciplines	
Citations	
Harvard	-
Stanford	Seattle, UCLA, UM Ann Arbor
Seattle	Berkeley, MIT, Stanford, UCLA, UM Ann Arbor
UCLA	Berkeley, MIT, Seattle, Stanford, UM Ann Arbor
Berkeley	Johns Hopkins, MIT, Seattle, UCLA, UM Ann Arbor
UM Ann Arbor	Berkeley, Caltech, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, Stanford, U
Johns Hopkins	Berkeley, Caltech, Columbia, MIT, Pennsylvania, UM Ann Arbor, WI Madis
Pennsylvania	Caltech, Columbia, Florida, Johns Hopkins, MIT, UM Ann Arbor, WI Madis
MIT	Berkeley, Columbia, Cornell, Florida, Johns Hopkins, Pennsylvania, Seattle, Twin Cities, UCLA, UCSD, UCSF, U
WI Madison	Caltech, Columbia, Cornell, Johns Hopkins, MIT, Northwestern, Pennsylvania, Twin Cities, U
Facteur d'impact	
Harvard	-
Berkeley	Seattle, Stanford, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Stanford	Berkeley, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Seattle	Berkeley, Caltech, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Stanford, UCLA, UCSF
UCLA	Berkeley, Caltech, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, Stanford, UCSF
UM Ann Arbor	Berkeley, Caltech, Columbia, Cornell, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, Stanford, UCD
Johns Hopkins	Caltech, Columbia, Florida, MIT, Pennsylvania, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Pennsylvania	Caltech, Columbia, Florida, Johns Hopkins, MIT, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
MIT	Columbia, Cornell, Florida, Johns Hopkins, Pennsylvania, Seattle, Twin Cities, UCLA, UCSD, UCSF, UC D
Cornell	Caltech, Columbia, Florida, MIT, Twin Cities, UCSD, UCSF, UM Ann Arbor, WI
Impact relatif	
Harvard	-
Stanford	Columbia, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Seattle	Berkeley, Columbia, MIT, Stanford, UCSF, UM Ann Arbor
Berkeley	Columbia, Johns Hopkins, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
UCLA	Berkeley, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Stanford, UCLA, UCSF, UM A
Johns Hopkins	Berkeley, Columbia, Florida, MIT, Pennsylvania, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor, W
Pennsylvania	Columbia, Florida, Johns Hopkins, MIT, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor, WI Madis
UM Ann Arbor	Berkeley, Columbia, Duke, Johns Hopkins, MIT, Northwestern, Pennsylvania, Seattle, Stanford, UCLA, U
MIT	Columbia, Cornell, Florida, Johns Hopkins, Pennsylvania, Seattle, Twin Cities, UCLA, UCSD, UCSF, UC D
Columbia	Berkeley, Cornell, Florida, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, Stanford Twin Cities, UCLA, UCSD, UCSF, UC Davis

Table 8: Classes de référence du top 10 des universités U.S. (toutes disciplines).

$\triangleright, \phi = .1$, toutes disciplines	
Citations	
Harvard	-
Stanford	-
Berkeley	MIT, Seattle, UCLA
MIT	Berkeley, Seattle, UCLA
Seattle	Berkeley, MIT, UCLA
UCLA	Berkeley, MIT, Seattle
Columbia	Caltech, JohnsHopkins, Pennsylvania, UM Ann Arbor
Johns Hopkins	Caltech, Columbia, Pennsylvania, UM Ann Arbor
Pennsylvania	Caltech, Columbia, Johns Hopkins, UM Ann Arbor, Yale
UM Ann Arbor	Caltech, Columbia, Johns Hopkins, Pennsylvania, Yale
Facteur d'impact	
Harvard	-
Berkeley	Stanford, UCSF
Stanford	Berkeley, UCSF
MIT	Columbia, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor, Yale
UCLA	Caltech, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, UCSF, Yale
UCSF	Berkeley, Caltech, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, Stanford, UCLA, UM Ann Arbor, Yale
Columbia	Caltech, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor, Yale
Seattle	Caltech, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor, Yale
Yale	Caltech, Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Johns Hopkins	Caltech, Columbia, Pennsylvania, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Pennsylvania	Caltech, Columbia, Johns Hopkins, Pennsylvania, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor, Yale
Impact relatif	
Harvard	-
Stanford	Columbia, UCSF
Berkeley	Columbia, Johns Hopkins, Seattle, UCSF, UM Ann Arbor
Seattle	Berkeley, Columbia, MIT, UCSF, UM Ann Arbor
MIT	Columbia, Johns Hopkins, Seattle, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Columbia	Berkeley, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, Stanford, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
Johns Hopkins	Berkeley, Columbia, MIT, Pennsylvania, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor
UCLA	Columbia, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, UCSF, UM Ann Arbor, Yale
Pennsylvania	Columbia, Johns Hopkins, UCLA, UCSF, UM Ann Arbor, Yale
UCSF	Berkeley, Columbia, Cornell, Johns Hopkins, MIT, Pennsylvania, Seattle, Stanford, UCLA, UCSD, UCSF, UM Ann Arbor, Y

Table 9: Top 20 des universités US dans le pseudo-classement basé sur la dominance faible (citations directes) et leur classement dans le classement ARWU US (2005) avec les scores dans les différents indicateurs.

Institution	\geq	ARWU	
	citations	class.	total
Harvard	1	1	100
Stanford	2	2	73,4
UCLA	3	12	50,6
U. of Washigton Seattle	3	15	48,4
Berkeley	5	3	72,8
MIT	6	4	70,1
Johns Hopkins	7	17	46,9
U. Michigan Ann Arbor	8	18	44,9
Pennsylvania	9	13	50,2
Columbia	10	6	62,3
UCSD	11	11	51
UCSF	12	16	47,8
U. of Winsconsin - Madison	13	14	49,2
Twin Cities	14	24	37,7
Cornell	15	10	54,6
Yale	16	9	56,9
Duke	17	24	37,7
Northwestern	18	22	37,9
Caltech	19	5	67,1
Washington U St Louis	20	20	40,7

Table 10: Classements obtenus par quatre institutitons dans notre classement fondé sur le dominance faible lorsque l'impact est mesuré par les citations directes, dans le classement ARWU et lorsque l'on isole chacun des 6 indicateurs qui sont agrégés dans ce classement. "-" signifie un score nul, ce qui correspond à un mauvais classement.

Université	Princeton	Caltech	U. Michigan at Ann Harbor	U. of Washington Seattle
Dom. faible, citations	32	19	8	3
ARWU total	7	5	18	15
Alumni	6	7	11	21
Award	4	7	-	21
HiSci	6	8	5	15
N&S	13	5	20	14
PUB	40	34	2	4
PCP	4	1	27	35