

L'empreinte aquatique quantitative de la consommation parisienne de viande. Résultats rétrospectifs : 1817, 1906

*[Petros Chatzimpiros](mailto:petros.chatzimpiros@univ-paris8.fr)¹ et Sabine Barles¹

¹Laboratoire Théorie des Mutations Urbaines, UMR CNRS AUS, Institut Français d'Urbanisme, Université de Paris 8, Champs-sur-Marne, France

[*petros.chatzimpiros@univ-paris8.fr](mailto:petros.chatzimpiros@univ-paris8.fr)

1 Introduction

Les travaux portant sur l'impact des sociétés sur l'environnement abordent rarement les effets indirects et différés dans l'espace (ou le temps) de ces sociétés, en particulier des villes dont il sera question ici. Les villes importent de nombreux biens dont la production (qu'elle concerne les secteurs primaire ou secondaire) s'est traduite par le prélèvement des ressources énergétiques et matérielles nécessaires à leur élaboration, et souvent par une dégradation des milieux liée aux divers procédés employés au cours de cette élaboration. La demande alimentaire urbaine est exemplaire de ces processus et effets, dans la mesure où la concentration de population qui caractérise les villes, associée à la quasi absence de production alimentaire locale, implique l'importation de l'essentiel de la nourriture destinée aux urbains – et le cas échéant à leurs animaux. Les impacts sur les zones rurales en sont multiples, l'impact sur la ressource en eau en constituant probablement l'un des plus importants d'un point de vue à la fois quantitatif et qualitatif.

Le présent rapport fait partie d'un projet de thèse dont l'objectif est d'analyser le cycle de vie de l'alimentation parisienne et ses implications quantitatives et qualitatives pour la ressource aquatique. Cette analyse rassemblera les impacts s'exerçant en amont de la consommation, qui sont donc relatifs à la production des aliments, ainsi que les impacts se développant en aval de celle-ci, qui concernent donc les rejets dans les milieux aquatiques issus de l'alimentation des Parisiens. Un des points centraux du projet est que ces implications seront localisées dans l'espace pour trois dates : 1817, 1906 et 2004, mettant ainsi en évidence l'évolution de la pression des Parisiens sur les ressources aquatiques lointaines et de proximité. Ici, on présente le volet quantitatif de la partie carnée de l'alimentation de la population Parisienne pour les années 1817 et 1906.

2 Croissance urbaine et consommation de viande

Le XIXe siècle est en effet marqué par une intense urbanisation qui touche au premier chef la capitale, dont la population passe de 720 000 habitants en 1817 à 2 800 000 habitants en 1906 (banlieue exclue), entraînant une hausse considérable de la demande alimentaire. S'y ajoute l'importance de la consommation de viande, caractéristique très urbaine en Europe au XIXe siècle (Flandrin, Montanari, 1996). Dans le cas français, la consommation par habitant à Paris fluctue entre 53 kg et 82 kg/an, ce qui correspond en une consommation de trois fois plus élevée que la moyenne rurale (Foville, 1890). En même temps, l'augmentation de la population parisienne a fait que les importations totales de viande sont passées de 50 000 t/an en début du XIXe siècle à 200 000 t/an en début du XXe siècle (Barles, 2007). En outre, la viande ne suit pas le schéma caractéristique des autres aliments qui proviennent pour la plupart des territoires ruraux avoisinant la capitale ou appartenant à son bassin hydrographique, comme l'a montré une étude récente (Billen et al., 2008). Dès le début du XIXe siècle, les provenances de la viande sont multiples et souvent très éloignées de Paris, ce qui donnait lieu au transport sur longues distances des animaux vivants. Les importations concernaient pour la grande majorité les viandes de boucherie, avec la viande de bœuf étant la plus largement consommée. Le porc, quasiment absent au début du XIXe siècle, a commencé à apparaître dans les assiettes de Parisiens courant XIXe siècle, mais sa consommation demeurerait probablement encore marginale en

début du XXe siècle (Philippe, 2004). Enfin, la part de la viande de mouton a marqué une forte augmentation dans la consommation totale de viande de boucherie, occupant 18 % de celle-ci en 1817 contre 26 % en 1906, (Philippe, 2002, Statistiques Agricole, 1908). Le tableau 1 renseigne les quantités et provenances de la viande de boucherie consommée à Paris en 1817 et 1906. Dans les deux dernières colonnes apparaissent en nombre d'animaux les quantités de viande qui ont été importées à Paris en tant que «viande à main».

Tableau 1 : Importations totales de bœuf et mouton pour Paris : 1817, 1906.

<i>Anciennes provinces exportatrices</i>	<i>1817</i>		<i>1906</i>			
			Importés vivants		Importés comme viande à la main	
	Bœuf	Mouton	Bœuf	Mouton	Bœuf	Mouton
Anjou	7 451	12 167	52 997	4 192	822	141
Artois		17 957				
Auvergne				56 066		13 858
Berry	2 340	34 218	9 050	37 201	6 371	47 995
Bourbonnais			5 158	22 832	372	3 769
Bourgogne			12 832	47 076	1 687	11 633
Bretagne			21 565	6 075	17 469	10 868
Champagne			8 772	43 740	1 169	5 346
Dauphiné				34 019		9 946
Flandre		7 946				
Guienne				161 642		103 901
Ile de France	36 542	110 086	18 800	221 628	1 452	25 928
Languedoc				137 152		8 613
Limousin	8 261	8 153	11 039	17 302	11 808	23 243
Maine	5 018	12 848	21 420	5 281	11 149	4 187
Marche	2 794		4 857	7 815	5 094	18 100
Nivernais			10 386	54 953	212	2 604
Normandie	37 711	59 051	48 120	9 879	18 472	6 936
Orléanais	10 113	17 953	16 710	160 002	5 374	55 963
Poitou	3 867	16 855	34 775	16 355	6 094	6 025
Saintonge	5 432			12 767		114 323
Touraine		10 756		6 434		66 029
Allemagne		5 426				
Pays-Bas et Belgique		8 413				
Algérie				127 620		
<i>Total in LU</i>	119 529	48 275	276 481	178 505	87 545	80 911
<i>% des importations totales</i>	95	96	91	96	100	100

La conversion est faite sur la base des poids finaux des animaux importés, déclarés comme tels dans la Statistique Agricole (1908). Comme il est indiqué dans le tableau 1, la totalité de la viande de bœuf est

de provenance française pour les deux dates, alors que pour la viande de mouton, 4 % proviennent des Pays-Bas et de l'Allemagne en 1817 et 7 % de l'Algérie en 1906. Cependant, mesuré en tonnage de viande, plus de 99 % de celle-ci est d'origine française en 1817 contre 98 % en 1906.

3 Méthodologie

3.1 Production de viande et consommation de l'eau

La quantité d'eau consommée lors de l'élaboration d'un produit, bien supérieure à la teneur en eau du produit lui-même, est appelée eau cachée (EC). Pour une population donnée, l'empreinte aquatique (EA) est la distribution dans l'espace des quantités d'EC qui sont nécessaires pour satisfaire ses besoins de consommation matériels. Depuis quelques années on trouve dans la littérature des études qui s'intéressent à l'EA des nations induite par leurs consommations en produits alimentaires ou industriels et qui mettent en évidence des échanges virtuels d'eau entre pays et régions du globe résultant des échanges physiques de produits (Hoekstra et Hung 2002, Chapagain et Hoekstra 2003, 2004, Chapagain et al., 2006). Le présent travail se distingue des études antérieures d'EA sur plusieurs points méthodologiques qui seront soulevé par la suite et dans les conclusions, ainsi que sur l'usage du terme eau cachée à la place de l'eau virtuelle.

L'EA de la consommation de viande de boucherie des Parisiens sera donc la dépense hydrique totale, distribuée dans l'espace, nécessaire à fournir cette viande de boucherie. La production primaire est une activité à forte demande hydrique, ce qui fait que les aliments - qui sont des produits finaux issus de l'agriculture et/ou de l'élevage - sont caractérisés par de volumes d'EC élevés. L'agriculture consomme de l'eau pour produire des végétaux dont les animaux d'élevage se nourrissent en partie pour fournir de la viande et d'autres produits animaux. L'EC d'un animal équivaut au cumul d'EC des différents aliments qui ont composé sa nourriture pendant sa vie et de l'eau de boisson consommée (Looper and Waldner 2002). Par conséquent l'EC des différents produits issus de l'animal résultera d'un partage de l'EC totale de celui-ci. Une grande partie de la nourriture consommée par les animaux étant destinée au maintien de leurs fonctions vitales, l'EC par unité de produit animal est très supérieure à l'EC par unité de produit végétal.

De même, pour les vaches laitières dont les dépenses énergétiques sont liées à la fois à la production laitière et à leur croissance de biomasse afin de fournir de la viande à la fin de leur carrière, l'EC totale doit être allouée entre le lait et la viande. Pour ce faire, on propose une nouvelle méthodologie consistant à partager l'énergie totale nette (NRC, 2001) fournie par la nourriture de la vache en énergie dépensée pour sa production laitière et en énergie dépensée pour sa maintenance et croissance corporelle. Les fractions d'énergie qui en résultent sont directement utilisées dans l'allocation de l'EC totale de l'animal en EC du lait et en EC de la viande.

Pour un animal donné, le contenu en EC est aussi dépendant du lieu de production en raison d'une part des variables climatiques déterminant les dépenses hydriques de la production primaire, d'autre part des différents aliments qui peuvent constituer la ration du bétail. Entre les XIXe et XXe siècles, les compositions des rations, surtout des bovins, présentent des modifications, ainsi que des spécificités locales selon la disponibilité des différents fourrages (Moriceau, 2005, et déduction faite depuis les données de la Statistique Agricole, 1908). Il en va de même pour les caractéristiques physiques des animaux, surtout leur poids à l'abattage (Moriceau, 2005, Dechambre 1906, Royer, 1843, Statistique agricole, 1908). C'est pour cette raison que la consommation totale d'EC des Parisiens liée à leur consommation de viande en 1817 et 1906 n'est pas seulement fonction des quantités de viande consommées mais aussi des lieux d'approvisionnement, ces derniers s'étant modifiés entre les deux dates. On a tenu compte de tous ces facteurs de variabilité pour augmenter la précision du calcul des consommations locales d'eau. C'est aussi pourquoi nous pensons que l'expression « eau cachée » est plus appropriée que l'expression « eau virtuelle » pour désigner l'eau consommée lors de la production alimentaire : cette eau existe bel et bien, et a bel et bien été consommée au sein des espaces producteurs, éventuellement au détriment d'autres usages.

3.2 *EC des cultures et allocation de l'eau agricole*

Comme il a été évoqué précédemment, l'EC d'un produit animal dépend de son lieu de production. Pour cette raison, la détermination de l'EA nécessite au préalable, la détermination des provenances des viandes, (Statistique de la France 1908, Philippe 2004), ces dernières apparaissant dans le tableau 1. Ensuite, pour chacune des provenances, on calcule l'EC du fourrage consommé par le bétail sur la base des données climatiques et agricoles (FAO, 1992, Statistique de la France, 1908).

Pour chacune des cultures et chaque lieu de production, l'EC en m³/t de produit agricole est donnée par la formule générale :

$$EC = 10 * ETR / R, \quad (1)$$

où R est le rendement local de la culture exprimé en tonnes, ETR l'évapotranspiration réelle culturale exprimée en mm pour fournir le rendement.

On a utilisé le modèle CROPWAT développé par la FAO (1992) pour calculer la consommation d'eau agricole pour la production de fourrage. Ce modèle calcule la demande évaporatrice quotidienne de l'atmosphère (ET_o) à partir de données climatiques et météorologiques régionales, puis l'évapotranspiration potentielle des cultures (ET_c) en employant des coefficients culturaux K_c (Allen et al., 1992). Pour chaque aliment du bétail et pour toutes les provenances de la viande de boucherie importée à Paris en 1817 et 1906, on a répété le même calcul de l'ET_c journalière. En cumulant les ET_c sur la période de croissance d'une culture donnée, on obtient les besoins en eau de la culture BEC. Contrairement à la grande majorité des études précédentes d'EA où il est considéré que les BEC sont entièrement satisfaits - ce qui est loin d'être vrai surtout pour l'agriculture pluviale - ici on a procédé avec un calcul plus élaboré, consistant à calculer l'évapotranspiration réelle des cultures (ETR), équivalant à la part des BEC qui est réellement satisfaite. L'ETR a découlé du croisement des BEC avec le résultat de la combinaison des précipitations moyennes pour les stations météorologiques les plus proches des provenances de la viande (FAO 1992) et d'une carte pédologique de la France renseignant les réserves utiles du sol (Jacquard and Choissnel, 1985). Ces dernières montrent le pouvoir de rétention du sol. En climats tempérés les sols se remplissent d'habitude en hiver et sèchent en été. On a distingué deux cas pour ce calcul : si la pluie efficace - précipitations retenues dans le sol - est supérieure aux BEC, l'ETR équivaut aux BEC et l'excès hydrique est retenu dans le sol ou s'infiltre en profondeur, selon l'état de saturation du sol. Inversement, si la pluie effective est inférieure aux BEC, l'ETR à chaque pas de temps donné équivaut à la somme de la pluie effective plus l'eau disponible dans le sol au pas de temps précédent, jusqu'à l'épuisement de la réserve utile ou la satisfaction des BEC.

En outre, une méthodologie a été développée afin d'allouer l'ETR aux différents sous-produits végétaux composant la biomasse totale produite. Cette allocation servira à calculer les EC des matières premières servant à différents usages, par exemple l'EC des graines de blé pour la production de pain et l'EC de la paille de blé pour la nourriture des bœufs. De même, on peut allouer la dépense hydrique agricole lors de la production de graines de colza en EC de l'huile de colza et en EC du tourteau donné aux vaches. Ce qui importe pour l'allocation est la finalité de la production. Supposons une culture de blé sans valorisation de paille : dans ce cas, la vocation de la production se limite à la production de graines et l'ensemble de la dépense hydrique (ETR) leur sera allouée. Dans le cas contraire, on va allouer l'ETR de la culture de blé en ETR pour les graines et en ETR pour la paille, sur la base des fractions de production de graines et de paille respectivement. De même, dans le cas d'une culture de colza, on tient compte de la fraction massique de la graine de colza donnant l'huile, le reste devenant du tourteau. Enfin, pour les deux cas, on corrige le résultat de la densité de glucose contenue dans chacune des fractions. La recherche agronomique a en effet montré qu'une corrélation très étroite existe entre la formation de glucose et la consommation d'eau en agriculture (Montheith 1994, Goudriaan et al., 2001, Gerbens-Leenens et Nonhebel 2004). On définit ainsi la fraction de la valeur nutritive (N_{v_f}) d'un sous-produit dérivant d'un végétal comme le ratio de la densité de glucose de ce sous-produit à la somme des densités de glucose de tous les sous-produits dérivant du produit végétal. Les données nécessaires pour calculer les contenus en glucose des produits destinés au bétail

proviennent de différentes études agronomiques (Penning de Vries 1983, Gerbens-Leenes et Nonhebel 2004, Walsh 2008, Petterson 1996, Duke, 1983). Donc, la valeur nutritive est obtenue comme suit :

$$Nv_f = v_p * p_f / \text{somme}(v_p * p_f), \quad (2)$$

où v_p est la densité de glucose de chacun des produits p (gr glucose/gr matière sèche) et p_f est la fraction massique de chacun des sous-produits.

Par conséquent, si ETR_C est l'évapotranspiration cumulée totale, EY le rendement en graines, HI la fraction du rendement en graines sur le total du rendement de biomasse et RF le rendement en paille, l'allocation de l'ETR en ETR correspondant aux graines (ETR_{EY}) et en ETR correspondant à la paille (ETR_{RF}) est faite comme suit :

$$ETR_{EY} = ETR * Nv_{fEY} = ET_C * v_{pEY} * HI / (v_{pEY} * HI + v_{pRF} * (1 - HI)) \quad (3)$$

$$ETR_{RF} = ETR * Nv_{fRF} = ET_C * v_{pRF} * (1 - HI) / (v_{pEY} * HI + v_{pRF} * (1 - HI)) \quad (4)$$

où Nv_{fEY} et Nv_{fRF} sont les fractions des valeurs nutritives de EY et RF respectivement.

Cette allocation relativement poussée est nécessaire dans la mesure où une ration animale est souvent composée par les parties végétatives secondaires des plantes (pailles) et ou par des sous-produits industriels, eg tourteaux.

3.3 Alimentation animale

La formulation des rations animales équilibrées est une tâche particulièrement compliquée (NRC, 2001). L'estimation rétrospective des rations données aux animaux l'est encore plus si l'on considère d'une part que l'alimentation était loin d'être standardisée au cours de la période étudiée, d'autre part que les caractéristiques physiologiques du bétail pouvaient fortement varier parmi les différentes régions productrices (Moriceau, 2005). Par conséquent, nous avons recouru à la modélisation (CVNA, 2006, NRC, 2001) afin de formuler des rations appropriées. On a explicitement conduit des simulations spécifiques pour les génisses, bœufs, vaches matures et veaux selon les aliments disponibles par lieu de production exportant de la viande à Paris (déduites des données de la Statistique Agricole 1908). La formulation des rations pour les moutons est faite de manière plus simple - mais conformément à la disponibilité fourragère régionale - en considérant que ceux-ci ont une consommation journalière de fourrages égale à 3 % de leur poids vif (NRC, 1985, Treacher, 1989, Buchman and Hemken, 1964). Leurs besoins en eau de boisson sont issus d'indications canadiennes (Omafra, 2007). Pour plus de détails sur la simulation des rations animales et sur l'allocation de l'EC des vaches laitières entre la production de lait et celle de viande, ainsi que pour une discussion plus étendue sur la variation des EC entre les vaches, bœufs et veaux, on se reportera à Chatzimpiros et Barles (2008). Le tableau 2 donne un aperçu des caractéristiques physiologiques des bovins simulés.

Tableau 2 : Caractéristiques physiologiques, alimentaires et de rendement de l'élevage des animaux simulés, * Gain Moyen Quotidien de poids.

	Poids initial et final (kg)		Âge (mois) en phase de croissance initiale et finale		GMC*(Kg) ou rendement journalier en lait pour les vaches (t)		Aliments sans rationnés sans distinction par région	
	1817	1906	1817	1906	1817	1906	1817	1906
Veaux (pour exportation)	36 - 115	40 - 150	0 - 8	0 - 8	0,3	0,5	Lait	Lait
Veaux (destinés à devenir de génisses)	36 - 91	40 - 130	0 - 6	0 - 6	0,3	0,5	Lait	Lait

Form at des génis ses	Petit	91- 252	130- 572	6 - 24	6 - 24	0,3	0,86	luzerne, herbe, légumes	Betteraves, avoine, luzerne, herbe, orge, maïs, légumes, paille de blé
	Grand	91- 345		6 - 24		0,4			
		91- 300		6 - 24		0,5			
Form at des vache s	Petit	91- 252	572	24-84	24-84	4,5	14	Luzerne, herbe, légumes, orge, paille de blé	Betteraves, luzerne, herbe, seigle, orge, maïs, graines de lin, graines de colza, légumes, paille de blé
	Grand	91- 345		24-84		5,5			
	Moyen	91- 300		24-84		5,0			
Form at des bœuf s	Petit	91- 352	130- 636	6 - 24	6 - 24	0,4	0,9	Luzerne, herbe, légumes, orge	Betteraves, avoine, luzerne, herbe, orge, maïs, légumes, paille de blé
	Grand	91- 420		6 - 28		0,5			
	Moyen	91- 386		6 - 30		0,4			
Taureaux		-	130- 670	-	6 - 26		0,9	Luzerne, herbe, légumes, orge	Betteraves, maïs, luzerne, herbe, légumes, avoine, paille de blé, orge

4 Résultats

L'EA totale et par habitant pour 1817 et 1906 est présentée dans le tableau 3.

Tableau 3 : EA quantitative de la consommation parisienne de viande de boucherie, 1817, 1906

	1817		1906	
	Total (10 ⁶ m ³)	Per capita (m ³ /cap)	total (10 ⁶ m ³)	Per capita (m ³ /cap)
beef	970,3	1322	3590,0	1260
sheep	79,0	108	762,0	267
total	1049,3	1430	4352,1	1527

L'augmentation de l'EA totale et par habitant est respectivement corrélée à l'augmentation de la consommation totale et par habitant de viande. Toutefois, de nombreux facteurs font que l'augmentation de la consommation de viande n'est pas proportionnelle à celle de l'EC. Cette première a marqué une hausse de 540 % entre 1817 et 1906, alors que la deuxième de seulement 315 %, accompagnant une augmentation sous-jacente de la population urbaine de 288 %. La consommation de viande par habitant a augmenté de 65 % entre 1817 et 1906, n'entraînant qu'une hausse de 7 % de l'EC par habitant. Cette évolution disproportionnelle trouve en partie ses racines dans une transition survenue entre 1817 et 1906 concernant les proportions de chaque type de viande (bovine vs ovine) consommée par les Parisiens, associée au fait que la viande de bœuf et celle de mouton sont caractérisées par des contenus unitaires en EC différents. La consommation de viande de mouton représentait 12 % du total en 1817 avec un contenu en EC de 15 m³/kg, contre 26 % en 1906 avec un contenu en EC de 11 m³/kg. Le contenu en EC de la viande bovine (veau, bœuf, vache confondus) correspondait à 39 m³/kg en 1817, contre 23 m³/kg en 1906. Ces chiffres sont exprimés en m³ par kg de poids vif.

La productivité de l'eau par kg de viande produite pour importation à Paris a donc augmenté entre les deux dates étudiées. Cette augmentation correspondant à moins d'eau consommée par unité de production est le résultat de plusieurs facteurs hétérogènes. Elle est à la fois due à la performance améliorée de l'agriculture en 1906 et au fait que la distribution spatiale de l'EA a connu des

modifications importantes entre 1817 et 1906, (voir cartes 1a – 1d). Les régions exportant de la viande à Paris en XXe siècle ont en moyenne des climats plus favorables pour la production primaire que celles en y exportant en XIXe siècle. Par exemple, l'ET moyenne de l'herbe – qui est l'aliment le plus abondant du bétail - des régions exportatrices de viande en XXe siècle est inférieure à l'ET moyenne des régions exportatrices du XIXe siècle. La ration moyenne des régions exportatrices du XXe siècle aurait donc tendance à avoir un contenu en EC inférieur par rapport à celle des régions exportatrices du XIXe siècle. Ceci se traduit en une hausse de la productivité de l'eau entre 1817 et 1906, due au déplacement des lieux d'approvisionnement vers des climats plus favorables à cet effet. D'un autre côté, l'herbe, étant une culture annuelle, est caractérisée par des BEC et de ETR plus élevés que les cultures saisonnières qui l'ont partiellement remplacée dans les rations bovines et ovines en 1906. Ceci fait que les BEC et par conséquent l'ETR moyenne des composantes d'une ration en 1906 sont plus faibles que celles d'une ration en 1817. Au-delà des différences d'évapotranspiration, les mutations agricoles caractéristiques du XIXe siècle ont conduit à une augmentation des rendements entre les deux dates et à l'introduction de nouveaux fourrages comme le maïs et la betterave à très faible contenu en EC (car combinant des BEC faibles avec des rendements très élevés). Par conséquent, le contenu en EC des animaux diminue également (tableau 4).

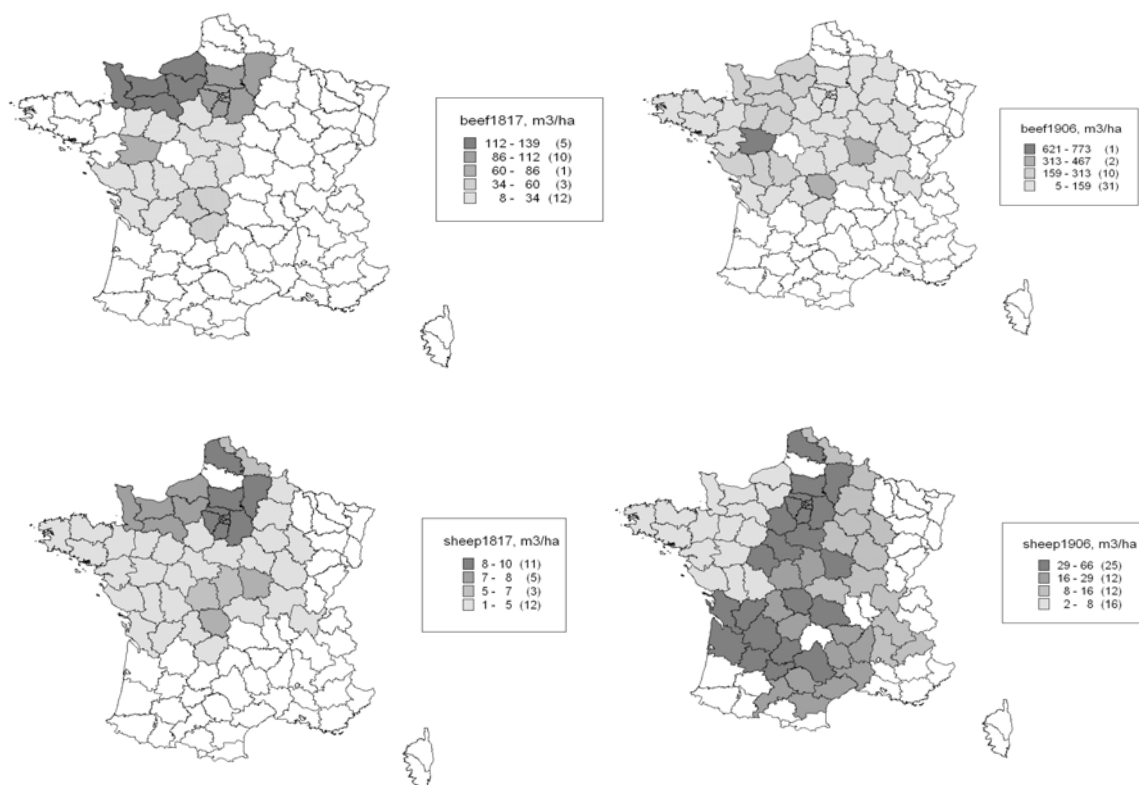
Le contenu en EC d'un animal est aussi fortement dépendant de son âge, variable qui est fonction de la finalité de l'élevage de l'animal. Par exemple, les vaches laitières sont abattues en général à un âge beaucoup plus avancé que les bovins de race à viande - dont l'engraissement s'achève à l'âge de 2 à 3 ans - car elles sont élevées pour leur production laitière durant plusieurs années. Bien que l'EC totale de la vache à la fin de sa carrière soit répartie entre la viande et le lait, le contenu en EC de sa viande est élevé. Il en résulte que des années ou des régions caractérisées par des exportations importantes de viande de vache seront aussi caractérisées par des exportations importantes d'EC.

La variabilité régionale et la variance (VAR) parmi les contenus en EC par UGB pour les régions de notre étude figurent dans la dernière colonne du tableau 4.

Tableau 4 : Différences moyennes en EC pour les régions traitées dans l'étude. En m³/kg de poids vif

	m ³ /kg de poids vif					
	veau	Bœuf	vache	UGB	mouton	Min and max EC par UGB (VAR)
1817	10	22	78	39	14	38 – 41 (1,7)
1906	5	16	49	23	11	16 – 36 (30,5)

Étant donné les différents contenus en EC des animaux, la viande bovine importée à Paris à une date donnée sera caractérisée par un contenu moyen en EC résultant de la pondération des contenus en EC de chaque animal par leurs nombres respectifs dans les importations totales de viande. Les chiffres du tableau 4 correspondent aux moyennes non pondérées. A titre de comparaisons, la moyenne pondérée pour 1906 était de 20,8 m³/kg, ce qui montre que la viande de vache occupait une place proportionnellement moins importante par rapport à la viande de veau et de bœuf dans les importations totales de cette année.



Cartes 1a – 1d : Distribution spatiale de l'EA de Paris sur le territoire français. Viande de boucherie 1817, 1906.

La composition des rations animales en 1906 présente plus d'hétérogénéité qu'en 1817 parmi les différentes régions étudiées, suite à l'émergence des nouveaux fourrages comme le maïs, la betterave, les tourteaux (colza et lin) et l'utilisation plus abondante des graines (orge et avoine), permettant d'obtenir des animaux de poids finaux supérieurs. Comme cela a été évoqué précédemment, le maïs et la betterave sont des produits agricoles à contenu en EC relativement faible, alors que pour les graines et les tourteaux il est relativement élevé. Il en résulte que les animaux recevant en 1906 des rations dans lesquelles le taux de tourteaux et/ou de graines est relativement élevé seront caractérisés par un contenu en EC lui aussi relativement élevé - proche des contenus en EC de 1817 -, ce dernier ayant tendance à annuler l'effet bénéfique résultant de l'amélioration de la productivité de l'eau survenue entre 1817 et 1906.

La distribution spatiale de l'EA (cartes 1a – 1d) révèle clairement que Paris, accueillant 2,3 % et 6,8 % de la population française totale en 1817 et 1906 respectivement, a considérablement élargi sa zone d'approvisionnement en viande en faisant largement usage des ressources aquatiques lointaines. Ces cartes montrent séparément les importations virtuelles d'EC relatives à la viande bovine et ovine. Le volume total d'EC importé depuis chaque région y est représenté en tant que densité d'eau importée, exprimée en m^3/ha . Ceci correspond à la division du volume total régional importé (m^3) avec la superficie de la région (ha). En ce qui concerne les volumes d'eau cachée en provenance de l'Allemagne, de la Belgique et des Pays-Bas en 1817 et de l'Algérie en 1906, ils n'apparaissent pas sur les cartes en raison de l'absence de données régionales pour ces importations. Les volumes relatifs sont $1.0 \cdot 10^6$, $3.0 \cdot 10^6$, $42 \cdot 10^6$ m^3 respectivement. A défaut d'une généralisation des moyens de transport aisés en début du XIXe siècle, les bovins arrivaient à pieds dans la capitale pour être abattus sur place (Moriceau 2005). En 1906, un tiers des importations totales (bovins et ovins) arrivent par le réseau ferroviaire (Statistique Agricole, 1908).

La consommation totale de viande a augmenté de 540 % entre 1817 et 1906, ce qui reflète à la fois le triplement de la population et l'augmentation de la consommation annuelle moyenne qui passe de 35 kg/hab en 1817 à 58 kg/hab en 1906. Cependant, cette demande accrue n'est pas satisfaite par les territoires avoisinant Paris, formés par l'ensemble administratif des départements de Seine, Seine-et-Marne, Seine et Oise et Aisne, (Philippe, 2004). On qualifie ici cette unité administrative d'hinterland de la capitale (cette notion est à discuter et le sera dans la suite du travail). Ce dernier a connu une forte régression dans l'approvisionnement de Paris, puisque il fournissait presque 20 % de sa consommation totale de viande en 1817, contre 7 % en 1906. Sur ce total, la régression la plus forte est enregistrée vis à vis de la viande bovine. De même, l'EA de Paris se situant pour 24 % dans son hinterland administratif en 1817 passe à 6 % en 1906. Le tableau 5 illustre le passage à l'utilisation plus intense des ressources lointaines. 340 m³/hab sur le total de 1430 m³/hab contre seulement 95 m³/hab sur le total de 1527 m³/hab proviennent de l'hinterland parisien en 1817 et 1906 respectivement. Ceci, étant donné l'affluence de population dans la capitale, se traduit par une augmentation de 8 % de l'EA se situant dans l'hinterland administratif contre une augmentation de 410 % de l'EA extérieure à ce dernier. Ces chiffres illustrent la dépendance de Paris par rapport à des ressources aquatiques se trouvant au-delà de son rayon administratif et marque les effets de l'urbanisation plutôt que des spécificités de la ville.

Tableau 5 : Mutation de la localisation de l'empreinte aquatique et enjeux en termes d'économies d'eau

	1817	1906
m ³ /hab provenant de l'hinterland de Paris	340	95
% de l'EA située dans l'hinterland de Paris	23,8	6,2
% de l'augmentation des importations parisiennes d'eau provenant de son hinterland	8,11	
% de l'augmentation des importations parisiennes d'eau provenant de l'extérieur de son hinterland	410,29	
Différences théoriques des quantités d'eau si toute la viande provenait de l'hinterland parisien (millions de m ³)	+ 8,8	- 700
Soit un pourcentage de	0,8 %	- 16 %

L'hinterland de Paris est caractérisé par une productivité d'eau, mesurée en m³ consommés par kg de viande produite, étant inférieure à la moyenne des régions exportatrices de viande en 1817 et supérieure de celle-ci en 1906. Comme il est indiqué dans le tableau 5, cette productivité différée fait que dans un cas théorique où la totalité de la viande provenait de l'hinterland de Paris pour les deux dates étudiées, en 1817 ceci conduirait à une consommation supplémentaire d'eau de $8,8 \cdot 10^6$ m³ soit un pourcentage de 0,8 % par rapport à l'EA totale alors qu'en 1906 il en résulterait des économies de $700 \cdot 10^6$ m³, soit 16 % de l'EA de cette année.

5 Conclusion

On a présenté dans ce rapport le volet quantitatif de l'EA des Parisiens liée à leur consommation de viande de boucherie en 1817 et 1906. Cette étude se distingue sur plusieurs points de la majorité des études antérieures partageant le même objectif. Tout d'abord elle se développe à l'échelle régionale, faisant ainsi usage de données plus pertinentes et précises vis-à-vis de la consommation d'eau pour la production primaire. Il en résulte qu'elle approche mieux la consommation hydrique de l'agriculture pluviale. On a également généré des rations animales conformes aux données historiques régionales concernant la disponibilité de fourrage pour alimenter le bétail, ce qui constitue une bonne base pour étudier des variations régionales vis-à-vis des dépenses aquatiques pour la production secondaire. La génération de rations différentes entraîne des consommations d'eau différentes, de même que chaque ration présente un potentiel de dégradation de la ressource différent (ce dernier aspect fait partie des perspectives pour la suite de ces travaux). En outre, les tentatives antérieurement conduites pour

l'allocation de l'eau aux différents sous-produits issus d'un même végétal ou animal étaient basées sur les fractions monétaires caractéristiques de chacun des sous-produits (Chapagain et Hoekstra 2003), ce qui compromettrait leur validité dans le temps et produisait des résultats unissant de façon contestable entités physiques et monétaires. De façon à dépasser ces limites et les biais éventuels qui y sont attachés, nous avons procédé à l'allocation des dépenses hydriques aux différents produits en suivant les mécanismes physiologiques qui y sont relatifs.

La mise en application de cette méthodologie permet de conclure qu'à la fois l'extension et la distribution spatiale de l'EA de Paris a connu des mutations importantes entre 1817 et 1906, ce qui confirme la dépendance croissante des milieux urbains à l'égard des territoires ruraux en termes des ressources. Les calculs comparatifs à un siècle d'intervalle, associés à l'échelle régionale retenue, ont permis de mettre en évidence les variables déterminant la productivité de l'eau vis-à-vis de la production alimentaire.

6 Perspectives

Le travail présenté dans ce rapport ouvre la voie à la poursuite de trois principaux objectifs. D'un côté les calculs ne prennent pas en compte le fait que l'augmentation des rendements agricoles entraîne l'augmentation des BEC, relation mise en évidence par la recherche agronomique (Vaux H, Pruitt W 1983, Hanks R., 1974, Goudriaan et al., 2001). Comme il est démontré par Gerbens-Leenes et Nonhebel (2004), les différences concernent seulement la composante « transpiration » de l'évapotranspiration totale des plantes, qui occupe une fraction relativement faible des dépenses évapotranspiratoires totales. Par rapport à la présente étude, on estime que la prise en compte de cette variable conduirait en une EA plus faible pour l'année 1817 et presque inchangée pour l'année 1906. D'un autre côté, on n'a pas couplé l'EA quantitative avec les volumes d'eau qui sont potentiellement dégradés suite aux productions primaire et secondaire. L'ampleur de la dégradation est inhérente au mode de gestion des terres labourables et des excréments animales, mais elle va généralement de pair avec l'augmentation des rendements agricoles, ces derniers étant en général le résultat de l'application importante d'engrais. Avec l'augmentation dans le temps de l'utilisation des produits phytosanitaires et engrais de synthèse dans la production agricole et le découplage physique progressif entre les productions primaire et secondaire, on estime que l'évolution des systèmes de production alimentaire sont de plus en plus responsables de la dégradation de la qualité de la ressource en eau. Ceci devrait être examiné avec le développement d'une méthodologie permettant de pondérer les dépenses hydriques quantitatives et la dégradation de la qualité de l'eau. Enfin, il nous reste à réaliser le même travail pour l'année 2004, de façon à poursuivre la comparaison engagée.

Références bibliographiques

Barles S. Feeding the City : Food Consumption and Circulation of Nitrogen, Paris, 1801-1914, *The Science of the Total Environment* (375), 2007, p. 48-58.

Billen, G., Barles, S., Garnier, J., Rouillard, J., Benoit, P. The food-print of Paris : Long term reconstruction of the nitrogen flows imported into the city from its rural hinterland, *Regional Environmental Change* 8, 2008, on the web, <http://www.springerlink.com/content/e763g054m7t22050/fulltext.pdf>.

Buchman D. T. and Hemken R. W., Ad Libitum Intake and Digestibility of Several Alfalfa Hays by Cattle and Sheep, *J Dairy Sci* 47, 1964, p. 861-864

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Virtual water flows between nations in relation to trade in livestock and livestock products. In : Value of Water Research Report Series No. 13. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 2003.

Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., Water footprints of nations. In : Value of Water Research Report Series No. 16. UNESCO-IHE, Delft, the Netherlands, 2004.

- Chapagain, A.K., Hoekstra, A.Y., and Savenije, H.H.G., Water saving through international trade of agricultural products, *Hydrology and Earth System Sciences* 10(3), 2006, p. 455-468
- Chatzimpiros P. et Barles S., Quantitative water footprint of meat consumption in historical perspective : first results for paris (france), 1817 and 1906, Actes de la conference internationale 'ConAccount Urban Metabolism : Measuring the ecological city', Prague, Republique Cheque, 11-12 Septembre 2008
- CVNA, Formulate 2 Dairy ration optimizer, 2006, <http://www.formulate2.com/>
- Dechambre P., *Les aliments du bétail*, A. Houzeau (Ed), 1906
- Duke J. A.. 1983. *Handbook of Energy Crops*. unpublished.
- FAO, CROPWAT : A Computer Program for Irrigation Planning and Management. Irrigation and Drainage Paper 46. Food and Agriculture Organization of the United Nations, Rome, Italy, 1992. Developed by : Martin Smith.
- Flandrin, J. L., Montanari, M. (eds.). *Histoire de l'alimentation*. Paris, Fayard, 1996.
- Foville, A. de. *La France économique. Statistique raisonnée et comparative*. Année 1889. Paris, 1890.
- Gerbens-Leenes P.W. et Nonhebel S., Critical water requirements for food, methodology and policy consequences for food security, *Food Policy*, 2004
- Goudriaan, J., Groot, J.J.R., Uithol, P.W.J., Productivity of agro-ecosystems. In : *Terrestrial Global Productivity*. Academic Press, 2001, p. 301–313.
- Hanks, R.J, Model for predicting plant yield as influenced by water use. *Agron. J.* 66, 1974, p. 660-665.
- Hoekstra, A.Y. and Hung, P.Q., Globalization of water resources : international virtual water flows in relation to crop trade, *Global Environmental Change*, (15), 2005, p. 45-56.
- Jacquard C., Choisnel E., Evaluation des besoins en eau de maïs : variabilité climatique, in Perrier Alain (Ed) : *Les besoins en eau des cultures*, Conférence Internationale, Paris 11-14 Sept 1984, INRA, Paris 1985, p. 451-470
- Liu, J. and Savenije, H.H.G., , Food consumption patterns and their effect on water requirement in China, *Hydrology and Earth System Sciences* 12(3), p. 887-898.
- Looper M. and Waldner D., Water for Dairy cattle, Guide D-107, New Mexico State University, 2002, available online : http://www.cahe.nmsu.edu/pubs/_d/D-107.pdf
- Monteith, J.L., Validity of the correlation between intercepted radiation and biomass. *Agr. Forest Meteorol.* 68, 1994, p. 213–220
- Moreau de Jonnés A., *Statistique de l'agriculture de la France*, Paris, 1848
- Moriceau, J. M., *Histoire et géographie de l'élevage français. Du moyen âge à la révolution*, Fayard (Ed), 2005
- Mounier M. L., *De l'agriculture en France d'après les documents officiels*, tome premier, Paris, 1846
- NRC, *Nutrient Requirements of sheep*, Sixth revised edition, ed. National Academy Press, Washington, D.C. 1985, av. online, <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309035961>
- NRC, *Nutrient Requirements of dairy cattle*, Seventh revised edition, ed. National Academy Press, Washington, D.C., 2001, av. online, <http://www.nap.edu/openbook.php?isbn=0309069971>

Omafra, Factsheet Water Requirements of Livestock, Order No. 07-023, 2007, av. online,
<http://www.omafra.gov.on.ca/english/engineer/facts/07-023.htm#5>

Royer C. E. *L'administration des richesses et la statistique agricole de la France*, Paris, 1843

Philipp E., Approvisionnement de Paris en viande, Entre marché, abattoirs et entrepôts 1800-1970, thèse de doctorat, CNAM, 2004

Statistique Agricole Annuelle 1906, Ministère de l'Agriculture, Paris, Imprimerie Nationale, 1908

Treacher, T.T., Nutrition of the dairy ewe. Pages 45-57 in : Boylan, W.J., ed. North American Dairy Sheep Symposium. University of Minnesota, St. Paul, USA. 1989

Vaux, H. Jr. and W.O. Pruitt, Crop Water Production Functions. In : "*Advances in Irrigation*". Hillel, D. (ed). Vol. 2 .Academic press, New York, NY, 1983, p. 61-93.