Synthèses

DURABILITÉ DES SYSTÈMES POUR LA SÉCURITÉ ALIMENTAIRE

Combiner les approches locales et globales

A. Thomas, A. Alpha, A. Barczak, N. Zakhia-Rozis, coord.

éditions Quæ

Chapitre 13

Les biodéchets alimentaires en zone urbaine : une ressource pour l'économie circulaire entre villes et agriculture

Jean-Daniel Cesaro, Guillaume Duteurtre, Stéphane Guilbert, Nadine Zakhia-Rozis

Jusqu'à récemment, la question des biodéchets alimentaires urbains était considérée comme un aspect mineur du système alimentaire mondial. À mesure que les villes prennent de l'ampleur, en particulier en Asie et en Afrique, ce thème retient l'attention des décideurs et des scientifiques qui s'intéressent à l'efficacité du système alimentaire et à la sécurité alimentaire (Guilbert *et al*., 2016). Les modèles prédisent que, d'ici 2050, la moitié de tous les biodéchets alimentaires, provenant à la fois de la vente au détail et des consommateurs, seront produits par les systèmes urbains (Parfitt *et al*., 2010). La masse des biodéchets alimentaires urbains est directement corrélée avec la population urbaine et constitue 20 % à 80 % des déchets solides des municipalités à travers le monde (Adhikari *et al*., 2009). Pour faire face à la croissance rapide des grandes villes, la gestion du gaspillage alimentaire exige des innovations techniques et organisationnelles, en raison notamment des risques environnementaux et sanitaires liés à ces biodéchets (Westerman et Bicudo, 2005).

Selon la FAO, les pertes et le gaspillage alimentaires correspondent à une diminution de la masse (quantitative) ou de la valeur nutritionnelle (qualitative) de la part comestible des aliments qui transitent le long de la chaîne d'approvisionnement destinée à la consommation humaine. Les pertes alimentaires représentent la diminution de la quantité ou de la qualité de denrées alimentaires du fait de décisions et de mesures prises par les acteurs de la filière alimentaire (producteurs, transformateurs). Le gaspillage alimentaire se réfère, quant à lui, à la diminution de la quantité ou de la qualité de denrées alimentaires du fait de décisions et de mesures prises par les détaillants, les fournisseurs de services alimentaires et les consommateurs (FAO, 2011). Toutefois, une part importante des biodéchets alimentaires produits en ville est nécessaire car liée à la transformation des aliments (épluchures, os, gras). Ce chapitre s'intéresse au recyclage des biodéchets

alimentaires urbains, incluant le gaspillage alimentaire, et à leur valeur pour une économie circulaire formelle ou informelle.

Pour gérer les biodéchets alimentaires, trois principales échelles d'action sont possibles : la distribution alimentaire en ville, les pratiques quotidiennes des consommateurs et une nouvelle économie circulaire de recyclage des biodéchets. Il peut sembler paradoxal de promouvoir la récupération et le recyclage des déchets, car cette économie circulaire pourrait amplifier le gaspillage. Toutefois, une grande partie des volumes de biodéchets sont incompressibles. Il faut donc s'attaquer à cette composante majeure des systèmes alimentaires. Du point de vue de l'économie circulaire, et étant donné la nécessité de mieux utiliser la biomasse, les biodéchets alimentaires urbains sont, dans de nombreuses situations à travers le monde, considérés comme une ressource, en particulier pour l'agriculture urbaine et périurbaine (Westerman et Bicudo, 2005).

Est-il préférable de régler le problème en aval des systèmes alimentaires en réduisant les pertes au niveau de la distribution et de la consommation, ou faut-il entreprendre la transformation des systèmes de récupération et de recyclage des déchets alimentaires, par le biais de l'économie circulaire, au niveau des systèmes urbains ? Les solutions doivent-elles être conçues à l'échelle mondiale, ou plutôt adaptées au contexte local ? Ce chapitre tente de répondre à ces questions au travers d'expériences de terrain issues de pays développés, émergents et en développement sur la manière de traiter les biodéchets alimentaires dans les villes. Nous nous intéresserons en particulier aux exploitations périurbaines, aux circuits économiques, aux réseaux des cantines scolaires, aux circuits des déchets et aux fermes expérimentales urbaines.

En se fondant sur des exemples tirés des villes de Montpellier en France, de Chicago aux États-Unis (Illinois), d'Antananarivo à Madagascar, de Dakar au Sénégal et de Hanoï au Vietnam, ce chapitre suit la production et le recyclage des déchets alimentaires à différentes étapes du système alimentaire : dans les marchés de gros et de détail (Antananarivo/Dakar), les magasins (Chicago/Hanoï), les restaurants (Montpellier/Hanoï/Chicago) et les ménages (Hanoï). Après un état de l'art sur la question du rôle de l'économie circulaire dans la gestion des pertes et du gaspillage alimentaires, ce chapitre utilise l'approche du métabolisme territorial pour analyser différents cycles de gestion de biodéchets dans plusieurs villes, tandis que la troisième partie se concentre sur le cas des éleveurs-recycleurs de Hanoï. Notre étude montre que la diminution et le recyclage des biodéchets alimentaires en ville impliquent de nombreuses parties prenantes, et en particulier les petits recycleurs spécialisés dans la récupération et la valorisation des déchets. Certains acteurs essaient d'innover pour réduire la production de déchets ou améliorer leur collecte et leur transformation en une ressource importante pour l'agriculture. Nos résultats mettent en lumière le fait qu'une économie circulaire fondée sur la valorisation des biodéchets alimentaires existe déjà dans le monde entier, sous certaines contraintes liées aux règles sanitaires. Des synergies entre l'agriculture et les villes sont possibles dans le cadre du système alimentaire pour permettre une gestion plus efficace des

pertes et du gaspillage alimentaires. Les mesures développant de telles synergies devraient être envisagées d'un point de vue multipartenarial et multisectoriel, en tenant compte des acteurs en amont et en aval. L'agriculture urbaine et périurbaine pourrait représenter une solution pour la gestion des pertes et du gaspillage alimentaires urbains si la prise de conscience des consommateurs et des décideurs s'intensifie et s'ils soutiennent cet effort.

▸▸ Comment réduire l'impact des biodéchets alimentaires urbains grâce à l'économie circulaire ?

En raison de la rareté des ressources naturelles et des sources d'énergie, l'activité humaine devrait viser une gestion durable des ressources et promouvoir l'efficacité dans l'exploitation de ces ressources. La gestion des déchets peut être considérée comme « efficace » si les sous-produits générés par la consommation de ressources extraites peuvent être réutilisés ou recyclés au lieu de représenter une perte pour la communauté ou l'environnement. La réutilisation des déchets alimentaires pour générer de nouveaux produits de manière durable présente deux principaux avantages : sur le plan environnemental, le recyclage peut limiter l'extraction des ressources pour générer un nouveau produit et contribuer aux flux de nutriments ; et sur le plan économique, il peut réduire les coûts de production et favoriser une plus grande accumulation de richesses dans l'économie locale et mondiale.

L'économie circulaire comme moyen de gérer la production de déchets

La transition vers l'économie circulaire constitue un défi, notamment en matière de bouclage des cycles. Il faut considérer l'augmentation de la consommation dans les pays émergents et en développement comme la plus forte tendance du XXIe siècle au regard de l'évolution de l'urbanisation, de la transition énergétique et du changement climatique. L'économie circulaire est liée à l'écologie industrielle des flux de matières. Ces flux entre les acteurs devraient être cartographiés pour comprendre l'organisation des systèmes (tels que les systèmes agroalimentaires ou industriels ou les économies basées sur les services). Lorsque des émissions de déchets sont repérées, des experts peuvent évaluer la valeur des déchets et trouver de nouvelles options pour les réutiliser et les recycler. L'objectif de l'économie circulaire est de réduire la quantité de matière extraite de la nature par unité de bien produit ou de service rendu.

Dans cette perspective, nous considérons la bioéconomie comme un projet social qui vise à orienter l'utilisation des biomasses considérées comme des déchets pour produire de nouveaux biens et services agricoles dans le respect des normes de sécurité et de sûreté sanitaire et nutritionnelle. En ce sens, la bioéconomie est

un modèle particulier de gestion des flux physiques, en boucle et par le recyclage. En pratique, les économies réalisent déjà ce genre de cycles. Nombreux sont les acteurs des secteurs formel et informel qui, dans le monde, gagnent leur vie en recyclant divers types de déchets organiques. Selon la définition retenue de la circularité (réutilisation ou recyclage), l'histoire montre que l'économie mondiale était circulaire aux XIXe et XXe siècles (Daviron, 2019). La tradition des collecteurs de déchets urbains représente encore un aspect important des systèmes alimentaires dans les pays en développement, alors que la gestion des déchets passe de plus en plus de l'action individuelle à l'intervention des services publics ou d'entreprises privées dans les pays développés. L'économie circulaire recouvre à la fois des dimensions techniques (flux de matières, biomasse et énergie dérivée, etc.) et socio-économiques (organisation de la gestion, diversité des acteurs, choix sociaux).

L'économie circulaire pour la gestion des biodéchets urbains : un défi croissant

Depuis 2007, plus de la moitié des habitants de la planète habite dans les villes. Les villes jouent donc un rôle important dans le système agroalimentaire mondial. La croissance de la population urbaine a mis en évidence le fait que les pertes et le gaspillage alimentaires sont devenus un problème environnemental et économique (Guilbert *et al*., 2016). La production de biodéchets alimentaires est directement liée à la concentration de la population, mais dans une large mesure elle dépend aussi du niveau de vie des ménages. Près de 20 % de la population mondiale vit dans les grandes métropoles, mais celles-ci produisent 40 % des déchets alimentaires. Selon les estimations, 65 % de la population mondiale sera urbaine d'ici 2050, ainsi la gestion des déchets alimentaires devient un objectif majeur du système alimentaire mondial, avec la sécurité alimentaire et nutritionnelle (Adhikari *et al*., 2009).

Lorsqu'elle s'applique aux biodéchets alimentaires, l'économie circulaire vise à éviter qu'ils ne soient mis en décharge et à promouvoir l'innovation dans leur réutilisation et leur recyclage. Le recyclage des déchets alimentaires par l'économie circulaire est particulièrement prometteur pour l'agriculture urbaine et périurbaine puisqu'ils constituent une ressource potentielle. Ils peuvent être valorisés en engrais, dans l'alimentation animale et la production d'énergie. Tout l'enjeu consiste à trouver la méthode de recyclage la mieux adaptée à chaque contexte. L'économie circulaire peut alors contribuer à la relocalisation de la production en favorisant le développement d'exploitations agricoles dans les zones périurbaines, en relançant l'emploi et en diminuant l'empreinte du système agroalimentaire. Les liens entre ville, pertes et gaspillage alimentaires, biodéchets et agriculture reposent souvent sur les réseaux formels et informels de l'économie circulaire dans les secteurs de l'agriculture urbaine et périurbaine (Borrello *et al*., 2017). À l'échelle mondiale, les agricultures urbaines et périurbaines constituent un moteur important pour la gestion des déchets organiques solides d'origine urbaine. À l'avenir, elles pourraient figurer parmi les leviers centraux de la transition vers les villes durables.

Le métabolisme territorial : une méthode pour la quantification et la qualification des biodéchets urbains

Nous avons essayé de quantifier les flux de matières et de déchets alimentaires dans différents systèmes : l'agriculture urbaine à Dakar (Sénégal), les circuits de commercialisation du poisson d'eau douce à Antananarivo (Madagascar), les cantines scolaires à Montpellier (France), un centre d'écologie industrielle fondé à Chicago (États-Unis) pour maximiser les flux des diverses activités agroalimentaires, et les décharges pour les déchets alimentaires urbains à Hanoï (Vietnam). Ces études de cas très diverses présentent des situations contrastées avec différentes réglementations, des masses de déchets variables et des solutions variées pour leur gestion.

Visualisation et analyse systémique des flux d'aliments et de déchets alimentaires

Les résultats des analyses de flux des cinq études de cas sont présentés dans la figure 13.1. Celle-ci montre l'évolution des flux proportionnels entre l'agriculture (Antananarivo, Dakar, Hanoï) ou la transformation des aliments (cantines à Montpellier, entreprise de Chicago) et la finalité du système, c'est-à-dire le consommateur final pour les approches sectorielles (Montpellier, Antananarivo, Dakar) ou les décharges pour l'analyse de l'économie circulaire (Hanoï, Chicago). Deux de ces cas présentent une économie plutôt linéaire (Montpellier, Antananarivo), alors que dans les trois autres, des boucles de réutilisation de la matière sont mises en évidence (Dakar, Hanoï, Chicago). Seulement deux cas (Hanoï, Chicago) visent clairement l'économie circulaire, dans le sens d'un échange entre les acteurs économiques. À Madagascar et à Dakar, l'économie circulaire semble implicite dans le cadre du commerce des déchets mais n'a pas fait l'objet d'études. Dans chaque cas, la production de biodéchets alimentaires représente environ 20 % de la masse initiale d'aliments et apparaît à différents niveaux selon le système étudié.

Les biodéchets alimentaires dans les villes du Nord global : de la réglementation publique aux innovations collectives

Les études de cas de Montpellier et de Chicago ont porté sur l'analyse de deux organisations ;
– les cantines scolaires à Montpellier ;
– un centre expérimental d'écologie industrielle appelé The Plant à Chicago.

À Montpellier, l'étude a couvert 18 cantines scolaires fournissant 3 200 repas par jour à des écoles maternelles et primaires. Les repas, préparés dans deux cuisines centrales, étaient ensuite livrés par une entreprise de restauration. Deux types de systèmes de livraison étaient mis en place, pour les repas chauds ou froids, selon les équipements de réchauffement disponibles dans les cantines. Pour évaluer le

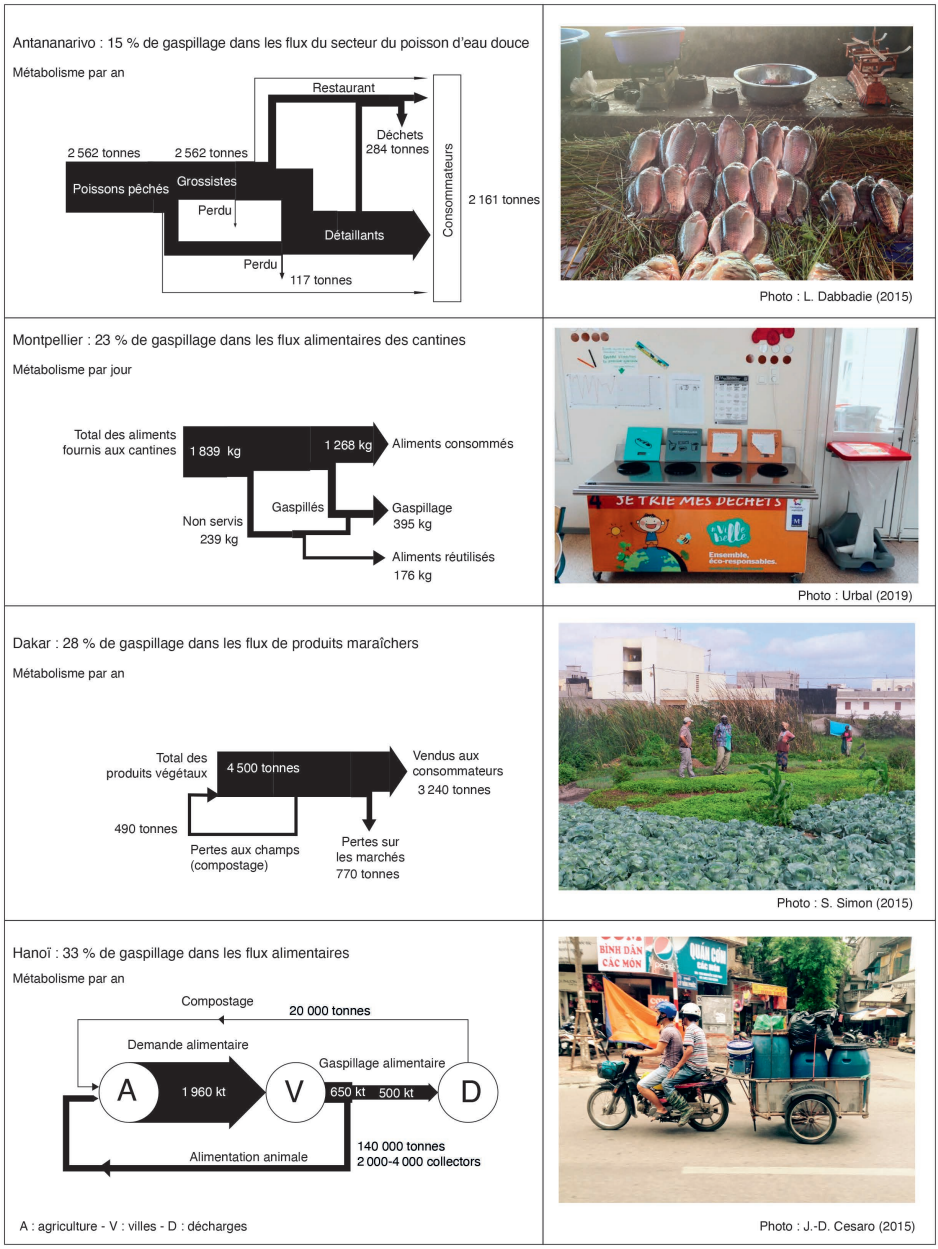

Figure 13.1. Flux d'aliments et de déchets alimentaires dans quatre villes du monde.

niveau de production de biodéchets, les aliments ont été pesés à leur arrivée aux cantines (intrant) durant deux semaines. Deux catégories d'aliments ont été prises en considération : ceux servis aux enfants et ceux qui n'ont pas été servis. Tous les aliments gaspillés ont été pesés à la fin de chaque journée.

Les résultats ont montré qu'un volume conséquent d'aliments a été gaspillé. Les aliments reçus quotidiennement par les cantines pesaient au total 1 839 kilos. Les enfants ont consommé 70 % de la masse des aliments livrés et en ont jeté 15 % ; environ 15 % de la masse des aliments livrés n'ont pas été servis. Le personnel a récupéré presque la moitié des aliments non servis, soit pour les goûters des enfants, soit pour eux-mêmes, et le reste a été jeté. Le total de la production de biodéchets alimentaires a été estimé à 422 kilos par jour, soit 77 tonnes par an (182 jours de classe). L'entreprise de restauration était bien consciente de l'impact économique du gaspillage alimentaire, puisqu'elle devait payer deux fois ces pertes : le prix d'achat des aliments fournis et non consommés et les taxes correspondant aux services de collecte des déchets urbains. La réglementation française encourage les entreprises de restauration à faire don des aliments non consommés dans le respect des normes d'hygiène et de la chaîne du froid. Le personnel peut emporter à domicile une partie des produits non servis. Pour les déchets alimentaires, le compostage sur site est favorisé s'il n'y a eu aucun contact avec des produits d'origine animale. Le personnel peut aussi récupérer une partie des déchets alimentaires pour son propre usage, pour des animaux de compagnie ou un petit élevage domestique.

À Chicago, le centre The Plant est un projet urbain qui vise à favoriser la symbiose industrielle entre différentes start-up de production (champignons, algues, insectes, miel, aquaponie, digestion anaérobie, entre autres) et de commercialisation des produits (vente directe) (Chance *et al.*, 2018). The Plant héberge diverses entreprises et collabore avec elles pour promouvoir une activité interentreprises dans le cadre de la symbiose industrielle.

L'étude a porté sur les flux et les échanges de matières et d'énergie entre les partenaires de cette symbiose industrielle, puis sur le suivi du devenir de trois productions choisies jusqu'à la consommation. La démarche comprenait :
– le développement d'une vision globale de l'ensemble du système et des flux et des échanges entre les différents projets hébergés dans le cadre de la symbiose industrielle ;
– l'analyse plus spécifique d'un type de produit et la mesure du gaspillage alimentaire local au niveau de la distribution. Ainsi les flux de matières ont été examinés sur trois semaines pour trois productions boulangères, avec trois livraisons par semaine. Les pertes ont été prises en compte au niveau de la boulangerie et sur divers points de vente (sur le site de The Plant, au marché local et chez quatre détaillants dans Chicago).

Les trois plus importants flux sortants de matières ont été les matières directement réutilisées sur le site (21 tonnes), celles mises en décharge (19 tonnes) et celles vendues hors site comme marchandises (15 tonnes). Bien que les volumes de déchets mis en décharge et de marchandises vendues proviennent de petits flux multiples, près de 98 % des matières suivies dans le système correspondaient aux coproduits issus de la brasserie. Le digesteur anaérobie n'était pas encore opérationnel au moment de l'étude. Lorsqu'il fonctionnera, il devrait pouvoir traiter 12 tonnes de

biodéchets par jour et constituer ainsi une importante source de compost pour l'agriculture urbaine et de gaz naturel pour les besoins énergétiques.

L'application de la méthodologie de l'analyse des flux de matières au centre The Plant a fourni une vision à la fois globale et ciblée sur certains flux (Mulrow *et al.*, 2017). Les données recueillies sur les flux de matières et leur matérialisation sont utiles pour améliorer les symbioses entre les acteurs du site, réduire les pertes et le gaspillage et mieux planifier l'avenir (figure 13.2). Certaines autorisations spécifiques ont été délivrées pour la première fois pour répondre à la nécessité d'innover, comme un permis d'élevage interne des animaux pour la consommation humaine, dans le cadre du système aquaponique (Nogueira *et al.*, 2020).

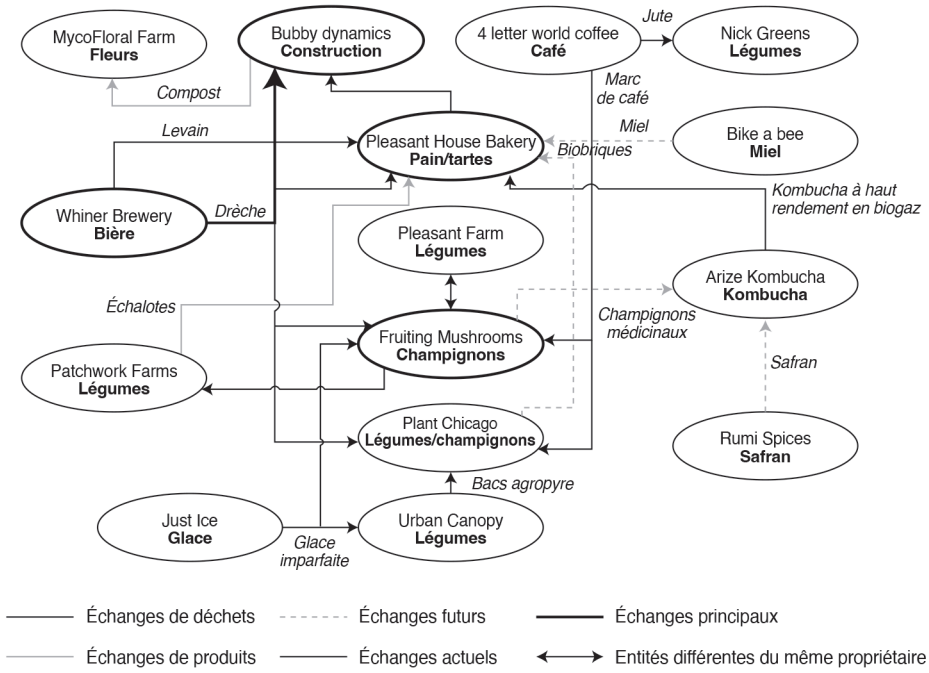

Figure 13.2. Flux de matières entre les différents projets et activités du centre The Plant.

Les biodéchets alimentaires dans les villes du Sud global : l'importance des pratiques informelles

Les études de cas réalisées à Antananarivo et à Dakar ont porté sur l'analyse de deux segments du système alimentaire :
– la chaîne de valeur du poisson d'eau douce vendu au marché d'Antananarivo ;
– l'agriculture urbaine et la commercialisation de ses produits autour de Dakar.

À Madagascar, l'étude a consisté à identifier des acteurs et des étapes de la chaîne de distribution du poisson d'eau douce (lacs), et à quantifier, pour chaque type d'acteur, les volumes achetés, vendus et entreposés, ainsi que les volumes de déchets.

L'étude visait également à extrapoler ces volumes au système urbain de la capitale et à cartographier les flux et les matières.

Les données officielles nous ont permis d'estimer à 2 562 tonnes la quantité de poissons lacustres vendus annuellement à Antananarivo. Selon une enquête réalisée en aval de la chaîne de valeur, les biodéchets résultant de la commercialisation et de la consommation de cette catégorie de poissons provenaient essentiellement des restaurants (284 tonnes) et des détaillants et des grossistes (117 tonnes), ces chiffres ne prenant en compte que le poisson non consommé. Les biodéchets directs représentaient 16 % du poids du poisson et s'expliquaient par une détérioration de la qualité du poisson. L'étude a conclu que 50 % du poids du poisson consommé était jeté. Toutefois la biomasse gaspillée a été partiellement récupérée. La chaîne de valeur des poissons lacustres a produit 400 tonnes de déchets alimentaires directs (poissons non consommés) et 1 000 tonnes de produits dérivés. La majorité des déchets a fini dans des décharges tandis que le reste a été réutilisé. Il a été difficile d'évaluer précisément l'utilisation des carcasses de poissons dans l'alimentation animale, les restaurants et les négociants donnant ces déchets à des collecteurs itinérants ou les vendant comme aliments pour les animaux d'élevage.

À Dakar, près de 62 000 foyers, soit environ 14 % de la population, travaillent dans l'agriculture urbaine. Au début des années 2000, la culture horticole périurbaine occupait plus de 34 % des terres et représentait près de 40 % de la production horticole destinée au marché national (Smith, 1999). À notre connaissance, la contribution actuelle de l'agriculture urbaine à l'approvisionnement des villes n'a pas encore été actualisée. Le réseau de la distribution alimentaire est particulièrement dense, avec des commerces de proximité, des marchés quotidiens et des stands permettant aux résidents de Dakar d'acheter des aliments sans parcourir de longues distances. Ce système n'a pas été étudié en détail, et les pertes après récolte et le gaspillage alimentaire n'ont jamais été quantifiés. Deux sites ont été étudiés :
– Pikine Ouest, qui comprenait 42 hectares et 384 agriculteurs. Les produits suivis par le projet étaient la salade (environ 3 500 à 4 000 tonnes par an réparties sur l'année entière), l'aubergine, la tomate, le poivron et le chou. L'irrigation était pratiquée avec un mélange d'eaux usées et d'eaux souterraines.
– Patte d'Oie, qui s'étendait sur 7 à 12 hectares, réellement exploités selon la saison, avec 280 agriculteurs. Les produits suivis par le projet étaient la laitue (environ 500 tonnes par an, réparties sur toute l'année), l'aubergine et la tomate. L'irrigation était pratiquée avec un mélange d'eaux usées traitées provenant de l'usine de traitement et d'eaux souterraines.

Les pertes après récolte issus du maraîchage et les pertes des produits sur les marchés ont été estimées à environ 10 % de la production annuelle, avec une forte saisonnalité, notamment pendant la saison chaude. Des pertes de 18 % en moyenne ont été enregistrées pour les poivrons, dans les champs ou sur les marchés, et au total plus de 28 % ont été perdus pendant la saison chaude. Les pertes en moyenne dépassent 400 tonnes dans la zone de Pikine, un chiffre relativement élevé. Toutes les pertes après récolte subies au champ ont été restituées au sol sous la forme de compost. Pour ce qui est des pertes sur les marchés, un taux très élevé de mise en décharge a été observé, le recyclage des matières étant rare, d'où quasiment aucune

retombée positive pour l'agriculture. Quelques éleveurs situés près des décharges recyclent les pertes végétales en aliments pour les animaux.

La production de biodéchets alimentaires au niveau des consommateurs et les pertes subies tout au long de la chaîne de valeur ont été quantifiées dans les quatre études de cas analysées. Le métabolisme territorial s'est avéré une méthode très utile pour quantifier et qualifier le gaspillage urbain. Les volumes éliminés sous forme de déchets se sont révélés variables dans les filières de l'horticulture, du poisson frais et des cantines.

Dans une approche complémentaire, les pratiques de réutilisation et de recyclage des biodéchets alimentaires dans l'élevage ont été examinées à Hanoï. L'objectif était de documenter les pratiques informelles de ce recyclage par l'alimentation animale et d'évaluer son potentiel pour le développement durable des systèmes alimentaires urbains.

Recyclage des biodéchets alimentaires urbains par l'élevage

À Hanoï, l'utilisation des biodéchets alimentaires par les éleveurs de porcs a été étudiée en vue d'évaluer son potentiel pour le développement durable du système alimentaire de la ville. Les problèmes techniques et sanitaires liés à cette activité informelle ont aussi été mis en évidence.

Au Vietnam, les biodéchets alimentaires urbains font partie d'un rapport traditionnel entre la ville et les systèmes d'élevage intra-urbains. Les agriculteurs qui vivent à la périphérie des villes ont l'habitude de venir chaque jour récupérer des matières organiques pour nourrir leurs animaux. Des ménages individuels et des établissements de restauration collective contribuent également à ces pratiques de recyclage en donnant ou en troquant leurs biodéchets alimentaires avec leurs voisins qui élèvent des porcs. Toutefois, dans le contexte actuel de croissance urbaine et d'industrialisation du secteur de l'élevage, ce type de gestion traditionnelle des biodéchets alimentaires semble être en déclin. Aujourd'hui, les biodéchets alimentaires sont transportés sur de longues distances dans des bidons bleus jusqu'à des exploitations d'élevage repoussées à l'extérieur des villes par les règles sanitaires.

Le recyclage des déchets alimentaires urbains par l'alimentation des porcs : une activité traditionnelle

Depuis le début des années 1970, de nombreux paysans vietnamiens vivant à la périphérie des grandes métropoles comme Hanoï et Saïgon avaient pris l'habitude d'acheter les déchets de cuisines de ces villes, ou eaux grasses, pour alimenter leurs porcs (Tran The Tong, 1973). Cette organisation informelle était considérée comme utile dans l'économie de subsistance de la période après-guerre (1975-1986). Après les réformes économiques Đổi Mới commencées en 1986, l'administration a mis en place une gestion formelle des déchets urbains qui a contribué à marginaliser l'activité de ces petits collecteurs (Dao Ngo, 2001).

L'étalement urbain et la croissance démographique ont entraîné une diminution des activités périurbaines liées à l'agriculture et à l'élevage. Les ceintures agricoles se sont déstructurées et éloignées du centre-ville (Sautier *et al*., 2014). Les éleveurs utilisant les biodéchets alimentaires tentent de maintenir une certaine proximité avec le cœur des villes, bien qu'ils soient installés en périphérie ou dans des zones interstitielles.

Dao Ngo (2001) estime qu'à la fin des années 1990, le recyclage informel des déchets solides municipaux par les agriculteurs représentait environ 14 % de l'ensemble de ces déchets pour la ville de Hanoï. Il indique toutefois que les agriculteurs récupéraient aussi d'autres matières, telles que des eaux noires et des eaux grasses, avec un taux maximal de recyclage devant vraisemblablement atteindre 30 %. À cette époque, les agriculteurs pouvaient recycler entre 65 000 tonnes et 140 000 tonnes de déchets alimentaires par an.

Takaaki *et al*. (2012) estiment quant à eux qu'en 2009 le taux de recyclage des déchets alimentaires devait avoisiner les 6,5 % à Hanoï. Nous considérons que ce taux est l'estimation la plus basse. Pour l'estimation haute de 2015, nous avons retenu le taux de 22 % fourni par le service de planification de la province de Hanoï. Durant cette année, les éleveurs ont recyclé entre 40 000 tonnes et 140 000 tonnes de déchets alimentaires.

Le nouveau secteur du recyclage des biodéchets alimentaires urbains

Malgré la réduction des activités d'élevage périurbaines, le nombre d'éleveurs intéressés par les déchets est resté élevé, ce qui a créé un rapport concurrentiel entre eux. La ressource est progressivement devenue une marchandise. Selon un éleveur, les déchets alimentaires qui auparavant étaient souvent gratuits sont devenus un commerce (entretien avec l'éleveur Gia Lâm, 2016). Parce que cette gestion est devenue commerciale, les exigences des éleveurs se sont accrues vis-à-vis des quantités et de la qualité des déchets urbains.

Selon l'étude réalisée entre 2015 et 2016 (Cesaro *et al*., 2019), les collecteurs récupéraient les déchets végétaux de restaurants (55 %), de cantines d'entreprises et d'écoles (22 %), de ménages (11 %), d'hôtels (8 %) et de marchés (4 %). En moyenne, les producteurs de déchets (essentiellement des restaurants) génèrent 30 kilos de biodéchets alimentaires par jour. Les volumes produits par les ménages sont beaucoup plus faibles. La composition moyenne des déchets alimentaires était la suivante : riz et nouilles (58 %), légumes (18 %), viande (8 %), poisson (6 %), os (5 %) et autres (5 %). Pour transporter ces déchets alimentaires, 85 % des collecteurs conduisaient une moto, 10 % un camion et 5 % un vélo. Les collecteurs utilisant un camion étaient plus organisés et pouvaient récupérer de plus grandes quantités. Les collecteurs à vélo recherchaient logiquement une certaine proximité avec les éleveurs urbains de porcs. Il a été observé que les collecteurs utilisaient plusieurs types de bidons bleus variant entre des petits contenants de 20 litres et de très grands bidons de plus de 200 litres.

Les données des recensements agricoles de 2001 et 2011 ont confirmé la diminution rapide du nombre d'éleveurs périurbains possédant au moins un porc par ménage

dans un rayon de 30 kilomètres autour de Hanoï. Nous avons estimé qu'il y avait environ 4 000 collecteurs de bidons bleus en 2016, représentant environ 40 % des éleveurs dans un rayon de 10 kilomètres, mais seulement 4 % dans un rayon de 30 kilomètres. En effet, à 30 kilomètres de Hanoï, d'autres grandes villes et zones industrielles peuvent fournir des déchets alimentaires aux éleveurs des environs (Cesaro *et al*., 2019).

Risques sanitaires et épidémiologiques liés au secteur informel

L'élevage d'animaux dans les villes, et en particulier dans les zones densément peuplées, entraîne de fortes contraintes et des risques élevés en matière de pollution environnementale et d'impact sur la santé des populations. L'élevage des porcs par les agriculteurs périurbains est pratiqué dans des conditions très variables. Nous avons identifié trois types d'élevage dans les zones périphériques de Hanoï :
– les exploitations localisées dans un environnement urbain contraint. Ce sont des zones sans parcelles agricoles. Les risques sanitaires et environnementaux liés à la gestion des déjections animales sont importants. Ce type d'élevage est courant dans les quartiers urbains périphériques ;
– les exploitations installées dans les zones agro-urbaines interstitielles. Elles ont bénéficié de la préservation de certaines zones agricoles dans l'espace urbain, en particulier le long des berges du fleuve Rouge ou dans des zones inondables restant disponibles pour le maraîchage ou l'arboriculture. Les risques sanitaires et environnementaux sont moins élevés dans ces exploitations ;
– les exploitations situées dans les zones rurales en périphérie des villes ou des villages. La localisation de ces élevages de porcs donne aux agriculteurs l'avantage de pouvoir gérer leurs effluents grâce à un accès direct à des parcelles agricoles ou à des lacs.

La pression exercée par l'élevage sur les ressources environnementales urbaines a amené les autorités à développer des programmes de relocalisation de l'élevage des villes vers les villages, dans des zones d'agriculture intensive (Cesaro *et al*., 2018).

L'étude épidémiologique a identifié trois types de risques sanitaires pour les porcs : physique, chimique et biologique. Concernant les risques physiques, l'une des affections type mentionnées est une fièvre provoquée par l'ingestion de cure-dents. Les risques chimiques sont élevés en raison de la contamination des déchets alimentaires par du liquide vaisselle. Concernant les risques biologiques, ils sont faibles parce que tous les agriculteurs cuisent les biodéchets alimentaires (Duong *et al*., 2017).

Le système de recyclage a récemment dû faire face à de nouvelles contraintes épidémiologiques et sanitaires. La première (épidémiologique) est liée à la propagation de la peste porcine africaine (PPA) en Chine, puis au Vietnam en 2018 et 2019. Selon la FAO, les pouvoirs publics locaux ont mis en œuvre des mesures strictes de contrôle des mouvements des porcs et des produits d'origine porcine provenant des communes infectées. Ils ont systématiquement abattu l'ensemble du cheptel des petits élevages où étaient déclarées des contaminations. Ces exploitations présentent un faible niveau de biosécurité car elles alimentent leurs

animaux par les eaux grasses, ce qui facilite la propagation de la PPA (FAO, 2019). Contrairement à la Chine, le Vietnam a opté pour une approche moins restrictive et laisse les éleveurs exercer leur activité en veillant à leurs bonnes pratiques et en limitant la commercialisation des porcs élevés par les petits producteurs en dehors des zones de production. La seconde contrainte d'ordre sanitaire est la pandémie de Covid-19 et la mise en œuvre de mesures de confinement. Les restaurants étant fermés, les collecteurs n'ont plus été en mesure d'accéder à leur principale ressource. Les éleveurs ont alors massivement vendu leurs porcs. Certains se sont tournés vers des systèmes d'agriculture plus conventionnels. Avec la réouverture des commerces, éleveurs et collecteurs ont pu reprendre leurs activités, quoique dans l'inquiétude de transmettre la PPA.

Conclusion

Les biodéchets alimentaires urbains représentent une ressource intéressante pour l'agriculture. Ils sont utilisés pour produire de l'énergie dans des méthaniseurs, servent d'engrais organique, de matériau industriel ou de nourriture pour les animaux d'élevage. Certaines pratiques de recyclage sont mises en œuvre dans de nombreuses grandes villes, aussi bien dans le Nord global que dans le Sud global, et elles proposent des alternatives intéressantes pour promouvoir l'économie circulaire liant villes et agriculture. Ces pratiques sont toutefois encore limitées, et les mesures encourageant le recyclage des biodéchets alimentaires urbains peuvent s'opposer aux principaux objectifs déclarés des politiques publiques en vigueur, par exemple celles qui visent à prévenir les pertes et le gaspillage alimentaires en les réduisant à la source. Il reste difficile d'industrialiser la collecte des déchets alimentaires sans agir sur la qualité organique et le potentiel agricole de ces matières. En outre, les réglementations limitent souvent les flux de recyclage en raison des risques sanitaires. Ainsi seule une petite partie des quantités mises en décharge est recyclée, en particulier dans le Nord global où les pratiques informelles sont rigoureusement réglementées.

L'élargissement de l'application de l'économie circulaire à la gestion des déchets alimentaires urbains nécessitera des investissements financiers, des innovations techniques et des solutions organisationnelles. Le développement durable des systèmes alimentaires urbains est fortement tributaire de leur rentabilité. Le règlement du problème des déchets alimentaires dans les grandes villes ne se limite toutefois pas à des questions d'investissements, d'organisation et d'innovation technique. C'est essentiellement un enjeu multidimensionnel exigeant des solutions spécifiques pour répondre à des problèmes et à des contextes précis, notamment les morphologies et les sociologies urbaines. Les efforts envisagés pour, d'un côté, réduire la production de biodéchets alimentaires à la source et, de l'autre, assurer le recyclage des biodéchets doivent être considérés en combinaison avec la diversification des systèmes alimentaires, le développement de l'économie circulaire et la croissance des économies participatives fondées sur les systèmes informels. Des plateformes multipartites seront nécessaires pour identifier les choix collectifs appropriés qu'il faudra faire dans chaque contexte. Le recyclage des déchets alimentaires reste un défi majeur pour l'avenir commun des villes et de l'agriculture.

Avec la croissance urbaine rapide que connaît le monde, cet enjeu va devenir de plus en plus important dans les années à venir.

Remerciements

Ce chapitre se fonde sur les résultats des projets P&G City et Bidons bleus, financés par le métaprogramme GloFoods du Cirad et d'INRAE (2015-2016). Nous souhaitons remercier ici tous les collègues impliqués dans ces deux projets qui ont participé aux activités de recherche et de terrain.

Références bibliographiques

Adhikari, B. K., Barrington, S. F., Martinez, J. (2009). Urban food waste generation: Challenges and opportunities. *International Journal of Environment and Waste Management*, *3*(1–2), 4–21. https://doi.org/10.1504/IJEWM.2009.024696

Ba, A., Moustier, P. (2010). La perception de l'agriculture de proximité par les résidents de Dakar. *Revue d'économie regionale urbaine*, *5*, 913–936. https://doi.org/10.3917/reru.105.0913

Borrello, M., Caracciolo, F., Lombardi, A., Pascucci, S., Cembalo, L. (2017). Consumers' perspective on circular economy strategy for reducing food waste. *Sustainability*, *9*(1), 141. https://doi.org/10.3390/su9010141

Cesaro, J.-D., Cantard, T., Nguyen Leroy, M.-L., Peyre, M.-I., Thanh Huyen, L. T., Duteurtre, G. (2019). Les élevages-recycleurs de déchets alimentaires à Hanoï : un service informel en transition [Food waste recycling with livestock farms in Hanoi: An informal system in transition]. *Flux*, *116–117*(2), 74–94.

Cesaro, J.-D., Porphyre, V., Duteurtre, G. (2018). Influence de l'industrialisation de l'élevage porcin au Vietnam sur la diversification des systèmes en intégration agriculture-élevage. *Revue d'élevage et de médecine vétérinaire des pays tropicaux*, *71*(1–2). https://doi.org/10.19182/remvt.31277

Chance, E., Ashton, W., Pereira, J., Mulrow, J., Norberto, J., Derrible, S., Guilbert, S. (2018). The plant—An experiment in urban food sustainability. *Environmental Progress & Sustainable Energy*, *37*(1), 82–90. https://doi.org/10.1002/ep.12712

Dao Ngo (2001). Waste and informal recycling activities in Hanoi, Vietnam. *Third World Planning Review*, *23*(4), 405–429. https://doi.org/10.3828/twpr.23.4.61966251020431xv

Daviron, B. (2019). *Biomasse, une histoire de richesse et de puissance*. Éditions Quæ, Versailles.

Duong, M., Peyre, M., Rukkwamsuk, T. (2017). Qualitative assessment of pig health risks related to the uses of food waste for pig production in sub-urban of Hanoi capital, Vietnam. SSRN. https://doi.org/10.2139/ssrn.3084422

FAO (2011). Global food losses and food waste – Extent, causes and prevention. Rome. https://www.fao.org/3/mb060e/mb060e00.pdf

FAO (2019). International assistance for Viet Nam's African Swine Fever response, Emergency Centre for Transboundary Animal Disease (ECTAD) – Viet Nam, http://www.fao.org/in-action/ectad-vietnam/news/detail/en/c/1185867/

Guilbert, S., Redlingshofer, B., Fuentes, C., Gracieux, M. (2016). Systèmes alimentaires urbains : comment réduire les pertes et gaspillages ? Research Report. Institut National de la Recherche Agronomique. https://hal.archives-ouvertes.fr/hal-01743979

Kato, T., Dung, T. X. P., Hoang, H., Xue, Y. H., Tran, Q. V. (2012). Food residue recycling by swine breeders in a developing economy: a case study in Da Nang, Viet Nam. *Waste Management*, *32*, 2431–2438 https://doi.org/10.1016/j.wasman.2012.07.015

Mulrow, J. S., Derrible, S., Ashton, W. S., Chopra, S. S. (2017). Industrial symbiosis at the facility scale. *Journal of Industrial Ecology*, *21*(3), 559–571. https://doi.org/10.1111/jiec.12592

Nogueira, A., Ashton, W., Teixeira, C., Lyon, E., Pereira, J. (2020). Infrastructuring the circular economy. *Energies*, *13*(7), 1805. https://doi.org/10.3390/en13071805

Parfitt, J., Barthel, M., Macnaughton, S. (2010). Food waste within food supply chains: Quantification and potential for change to 2050. *Philosophical Transactions of the Royal Society of London B: Biological Sciences*, *365*(1554), 3065–3081. https://doi.org/10.1098/rstb.2010.0126

Rakotomalala, T., Andriamanana, O., Mortillaro, J.-M., Andria-Mananjara, D. E., Dabbadie, L. (2017). Loses and wastes of the freshwater fish sector in Antananarivo, Madagascar. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.26062.66882

Sautier, D., Thê Anh, D., Nguyen Ngoc, M., Moustier, P., Nghiêp, P. C. (2014). Enjeux de l'agriculture périurbaine et croissance urbaine à Hanoï. *In* Métropoles aux Suds, le défi des périphéries ?, Karthala, Paris, pp. 273–288. http://agritrop.cirad.fr/573933/

Tran, T. T. (1973). Pig breeding. *In Agronomical Data, Vietnamese Studies*, 38, 128–41. Xunhasaba, Hanoi.

Westerman, P. W., Bicudo, J. R. (2005). Management considerations for organic waste use in agriculture. *Bioresource Technology*, *96*(2), 215–221. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.05.011