Pollution particulaire de l'air par le brûlage de déchets verts : ce que dit l'expertise de l'ANSES

Particulate air pollution from green waste burning: a summary from the ANSES report

Matteo REDAELLI⁽¹⁾, Christophe DECLERCQ⁽²⁾

Contexte

À l'échelle mondiale, le brûlage de biomasse est un contributeur majeur aux émissions de gaz toxiques et de particules en suspension, entraînant des niveaux élevés de pollution atmosphérique notamment dans les pays en voie de développement. En Europe, la combustion de biomasse (usage du bois comme combustible, feux agricoles et feux de jardins) est responsable de 50 à 70 % de la pollution carbonée hivernale d'après des résultats du programme européen CARBOSOL [CNRS/INSU, 2007]. Des résultats très similaires ont été observés dans les métropoles françaises de Paris, Lille, Strasbourg et Grenoble à partir d'une étude conduite au cours de l'hiver 2007 [Pissot *et al.*, 2009].

En ce qui concerne plus particulièrement le brûlage de déchets verts, le second Plan National Santé Environnement [PNSE 2, 2009-2013] prévoyait dans son action n° 1 relative à la réduction des émissions de particules du secteur domestique, de sensibiliser les usagers et les professionnels sur les émissions dues aux feux de jardin. Une circulaire interministérielle du 18 novembre 2011 rappelle ainsi les bases juridiques relatives à l'interdiction de brûlage à l'air libre des déchets verts et précise les règles d'attribution d'éventuelles dérogations.

Dans un contexte plus large, les ministères en charge de l'environnement, de la santé et du travail ont demandé à l'Agence Nationale de Sécurité Sanitaire : alimentation-environnement-travail (Anses) de réaliser un état des connaissances relatif à la pollution générée par les feux de végétation à l'air

libre – incendies de végétation, brûlages agricoles, brûlages de déchets verts – et aux effets sanitaires associés ; ce afin d'asseoir ou d'orienter les réglementations visant à prévenir ou gérer les situations en cas de survenue de feux de végétation.

Cet article constitue une synthèse élaborée à partir du rapport produit par l'Anses (Anses, 2012) et concerne en particulier la pollution particulaire de l'air par le brûlage des déchets verts.

Le brûlage de déchets verts

Les déchets verts de jardin désignent les feuilles mortes, les tontes de gazon, les tailles de haies et d'arbustes, les résidus d'élagage, les déchets d'entretien de massifs, et autres déchets végétaux issus du jardin des particuliers. De même que le système de compostage de biodéchets, le brûlage des déchets verts permet une élimination de la biomasse naturelle. Ces brûlages sont concentrés sur une période relativement courte de l'année, généralement en automne.

Outre les risques de brûlures voire d'incendie, le brûlage à l'air libre de ces déchets est susceptible d'occasionner localement des nuisances importantes : détérioration de la qualité de l'air, gênes olfactives, réduction de la visibilité à proximité des axes routiers... L'impact négatif sur l'environnement est accentué lorsque les déchets verts sont contaminés par d'autres déchets ménagers ou par des résidus phytosanitaires par exemple. Les autres modes de gestion de ces déchets peuvent également avoir des

(1) Département Évaluation des Risques, Agence Nationale de Sécurité Sanitaire : alimentation-environnement-travail (Anses), Maisons-Alfort.

(2) Département Santé Environnement, Institut de Veille Sanitaire (InVS), Saint-Maurice.

impacts négatifs tels que la pollution atmosphérique générée par leur transport.

En termes de réglementation, les déchets verts sont assimilés à des déchets ménagers, dont le brûlage à l'air libre est interdit par l'article 84 du Règlement Sanitaire Départemental Type (RSDT), qui constitue la base des règlements sanitaires départementaux adoptés par les préfets. Cette interdiction s'applique aux particuliers et aux professionnels de l'entretien des espaces verts (paysagistes, collectivités...), des dérogations pouvant être édictées uniquement par arrêtés préfectoraux (article 164 du RSDT). Une circulaire interministérielle du 18 novembre 2011 adressée aux préfets de département rappelle les bases juridiques relatives à cette interdiction et précise les règles d'attribution d'éventuelles dérogations.

Émissions du brûlage de déchets verts

Les bois et autres végétaux sont composés de quantités variables de cellulose, lignine, tannins, et autres polyphénols, huiles, graisses, résines, cires et amidons qui produisent différents composés lorsqu'ils sont brûlés. La variabilité de la composition des fumées de combustion résulte des disparités en termes de composition, structure et densité du combustible, d'intensité du feu, d'aération, d'humidité, des durées en conditions de combustion vive (feu flamboyant) et combustion lente (feu couvant, sans flamme). La composition des fumées varie aussi selon la distance par rapport au foyer de combustion.

Plusieurs centaines de composés chimiques ont été détectés dans des prélèvements de fumées de combustion de biomasse, incluant une multitude de substances organiques partiellement oxydées générées par la combustion typiquement incomplète de la biomasse. Ces fumées comprennent des particules, du dioxyde de carbone, du monoxyde de carbone, des composés organiques volatils et semi-volatils et des oxydes d'azote.

Du fait de l'importance des émissions et des effets sur la santé associés à ce polluant, les particules en suspension sont considérées comme d'intérêt majeur. Environ 80 % de la masse particulaire sont des particules fines PM_{2,5} (diamètre aérodynamique < 2,5 µm) dont une majorité sont des particules submicroniques.

Ces caractéristiques les rendent facilement transportables sur de longues distances. Les particules des fumées subissent des modifications physico-chimiques et évoluent rapidement au cours de leur transport. Elles ont ainsi tendance à augmenter en taille au cours de leur évolution, les mécanismes couramment rapportés étant la coagulation, la condensation de gaz organiques primaires, la conversion gaz/particules d'espèces inorganiques et organiques telles que les sulfates et les acides organiques, ainsi que les processus nuageux. Ces mécanismes interviennent sur des pas de temps allant de quelques minutes à quelques jours. La distribution de la taille des particules est également

modifiée durant les processus atmosphériques de dépôts humide et sèche.

Les particules issues de la combustion de biomasse sont variées en taille et également en composition. Typiquement, elles ont un cœur de carbone-suie et de composés alcalino-terreux (tels que le chlorure de potassium) recouvert de composés organiques. La combustion lente crée généralement des particules sphériques avec des cœurs réfractaires plus petits ou inexistantes. Approximativement 50-65 % de la masse est attribuable au carbone organique, et 70-85 % aux espèces organiques incluant le carbone organique. Le carbone-suie compte typiquement pour 4-8 % de la masse sèche des particules. La fraction des diverses espèces inorganiques est très variable (environ 5-15 %). La composition de la fraction de carbone organique varie sensiblement en fonction du combustible et des conditions de combustion, une étude ayant mesuré près de 200 composés organiques distincts dans la fumée de bois, pour beaucoup dérivés des polymères de bois et résines. Alors que le profil des hydrocarbures aromatiques polycycliques est vraisemblablement variable, de nombreuses mesures se sont concentrées sur le benzo(a)pyrène, classé comme cancérigène probable chez l'homme. Les hydrocarbures sont majoritairement de longues chaînes d'alcane, avec des carbohydrates, des acides organiques et divers alcools, phénols, et aldéhydes. En termes de fraction massique, les particules « anciennes » ont des concentrations beaucoup plus faibles en espèces traceuses telles que le carbone-suie et le potassium, et sont significativement enrichies en produits secondaires tels que le sulfate, des acides organiques, et des espèces organiques semi-volatiles. La fraction fine des particules est connue pour concentrer des éléments traces : sodium, magnésium, aluminium, silicium, cadmium, phosphore, soufre, chlore, potassium, calcium, titane, manganèse, fer, zinc, rubidium, strontium, vanadium, plomb, cuivre, nickel, brome et chrome. Les particules peuvent également comporter des gaz adsorbés et condensés et des radicaux libres.

Les déchets verts de jardin se caractérisent par leurs teneurs en eau élevées conditionnées principalement par la météorologie, notamment la pluviométrie des jours précédant le brûlage. Le brûlage se fait généralement en tas plus ou moins compacts. Une humidité ou une densité élevée (masse volumique ou surfacique) de ces déchets peut ainsi réduire l'efficacité de la combustion et augmenter les émissions polluantes. Par exemple, un feu de feuilles ou d'herbes (feu couvant) conduit à des émissions de particules et de polluants organiques plus élevées qu'un feu de branches (feu vif). Quelle que soit la qualité de la combustion, le brûlage de déchets verts (biomasse naturelle) reste cependant associé à de faibles émissions de polychlorodibenzo-dioxines et polychlorodibenzo-furanes. Par ailleurs, l'amélioration de la qualité de combustion par des incinérateurs de jardin, de plus en plus utilisés par les particuliers, n'est pas toujours démontrée.

D'autres facteurs peuvent augmenter les émissions polluantes de ces brûlages : le traitement préalable par des agents chimiques tels que des pesticides ou fongicides, ou le mélange avec d'autres déchets ménagers tels que des plastiques.

Une étude de l'Ineris (2011) a déterminé des facteurs d'émission pour le brûlage à l'air libre de déchets verts. Cette étude rapporte plusieurs facteurs d'émission en $PM_{2,5}$ identifiés dans la littérature : un facteur moyen de 8,3 g/kg sur matériau brut, avec des valeurs évoluant de 4,6 à 14,1 g/kg sur brut, un facteur de 10,8 g/kg sur brut pour un feu de feuilles, un facteur moyen de 20,9 g/kg sur brut pour des feux d'aiguilles de conifères, et un facteur moyen de l'ordre de 1,2 g/kg sur brut lors de brûlage de déchets verts (feuilles, branches, herbes). En ce qui concerne les particules totales, un facteur moyen de 8,5 g/kg sur brut a été établi par l'Ineris à partir de simulations de brûlage à l'air libre de déchets verts à l'intérieur d'une enceinte de grand volume fermée (13,0 g/kg sur brut pour le feu avec une proportion importante de feuilles, 4,0 g/kg pour le feu avec une proportion importante de branches). Un facteur d'émission moyen comparable de 8,9 g/kg sur brut, avec des valeurs allant de 1,5 à 32,3 g/kg sur brut, a été identifié dans la littérature pour une simulation de feux de jardin (herbes, feuilles, petites branches relativement sèches : 7 à 12 % d'humidité).

Néanmoins, les données d'émission des brûlages de déchets verts restent parcellaires et difficilement comparables. En effet, cette catégorie de biomasse a une composition très hétérogène et donc mal connue, et les pratiques de brûlage peuvent également varier. Aussi, toute quantification reste entachée d'une incertitude élevée.

Pollution particulaire de l'air générée par le brûlage des déchets verts

Les particules en suspension représentent le polluant de l'air dont les concentrations sont les plus invariablement élevées par rapport aux seuils réglementaires dans les zones impactées par les fumées des feux de végétation à l'air libre.

Le terrain et la météorologie sont des facteurs intriqués influençant le comportement des fumées. En soirée, en particulier dans les vallées montagneuses et les zones de faible altitude, des inversions de température sont fréquentes, l'air à proximité du sol étant alors plus froid que l'air au-dessus. Ce phénomène fait obstacle au mouvement ascendant de l'air. Cet « effet couvercle » des inversions de température, ainsi qu'une diminution de la vitesse du vent, peuvent favoriser l'accumulation de fumées et polluants durant la nuit dans les vallées et zones de faible altitude. Le terrain, de par la topographie et l'occupation du sol, peut également influencer le comportement des fumées en faisant obstacle ou en favorisant le flux des vents. Les terrains montagneux causent des flux d'air turbulents qui peuvent favoriser l'augmentation des concentrations de polluants dans les fumées

au niveau du sol. Ce type de terrain peut inhiber la dispersion des fumées en diminuant la vitesse des vents, ou peut acheminer les vents à travers les cols de montagne, accélérant le déplacement des fumées.

Dans des conditions météorologiques ou topographiques défavorables, les brûlages de déchets verts peuvent contribuer de manière significative aux concentrations de particules dans l'air à court terme, et causer une détérioration locale et transitoire de la qualité de l'air.

Cet impact potentiel sur la qualité de l'air est illustré par les résultats d'une étude de la caractérisation chimique des particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 μm (PM_{10}) et de la contribution des différentes sources, réalisée à partir de mesures effectuées entre octobre 2008 et novembre 2009 dans la vallée de Paillon en Provence-Alpes-Côte d'Azur [Atmo PACA, 2010]. L'influence des combustions de déchets verts a été mise explicitement en évidence sur les quatre sites de prélèvements de l'étude durant l'hiver. Les jours pour lesquels les brûlages des déchets verts ont été identifiés, les concentrations en PM_{10} issues de ces brûlages étaient comprises entre 5 et 50 $\mu g/m^3$, soit 6 % à 45 % de la masse des particules sur ces journées. L'influence de la combustion de déchets verts était particulièrement significative le 9 décembre 2008 où elle a contribué à hauteur de 45 %, à une concentration moyenne journalière de 105 $\mu g/m^3$, concentration la plus élevée mesurée sur ce site depuis 2007. Cette source a été, ce jour-là, un facteur déterminant dans le dépassement du seuil réglementaire, les conditions atmosphériques étaient par ailleurs très défavorables à la dispersion des polluants.

Toxicité de la fumée de bois

Aucune étude portant spécifiquement sur la toxicité des fumées de brûlage de déchets verts n'a été identifiée dans la littérature. Cependant, une analyse approfondie des études de la toxicité de la fumée de bois chez l'animal, *ex vivo* et *in vitro* revues par Naeher *et al.* (2007), ainsi que des études publiées après cette revue de la littérature, suggèrent que l'inhalation à court terme de fumées de bois altère les mécanismes de défense immunitaires des poumons, importants dans la résistance aux infections pulmonaires. Pour le même type d'exposition, plusieurs études rapportent l'induction au niveau pulmonaire d'un stress oxydant, d'une réponse inflammatoire, d'une altération modérée de la fonction respiratoire et d'une aggravation de l'hyperréactivité bronchique non spécifique.

Par ailleurs, plusieurs études *in vitro* et *ex vivo* concluent au caractère mutagène des fumées de combustion du bois. Selon le Centre International de Recherche sur le Cancer et sur la base des études réalisées chez l'animal [CIRC, 2010], le niveau de preuve du caractère cancérigène est « limité » pour les émissions de combustion de bois, et « suffisant » pour les extraits de fumées de bois.

Expositions et effets sanitaires liés aux brûlages de déchets verts

Aucune étude ayant investigué spécifiquement les expositions et effets sanitaires liés au brûlage de déchets verts de jardin n'a été identifiée dans la littérature. Néanmoins, le risque d'effets néfastes à court terme, notamment pour la santé respiratoire et l'irritation, ne peut être exclu localement compte tenu des polluants caractérisés dans les fumées de ces brûlages et des impacts épisodiques observés sur la qualité de l'air. Par ailleurs, plusieurs études épidémiologiques en population générale ont observé des associations entre l'exposition à la fumée des incendies de végétation et des effets à court terme sur la fréquence des symptômes respiratoires, sur la fonction respiratoire et sur l'incidence des hospitalisations pour motif respiratoire ou cardio-vasculaire, voire dans certains travaux sur la mortalité. Ces études considérées dans leur ensemble suggèrent que les PM₁₀ résultant de ces incendies sont au moins aussi toxiques pour la santé respiratoire à court terme que les PM₁₀ de source urbaine.

Conclusions

L'Anses et son comité d'experts spécialisés « évaluation des risques liés aux milieux aériens » confirment l'intérêt de l'interdiction réglementaire des brûlages à l'air libre de résidus de cultures et de

déchets verts en France⁽³⁾. Des dérogations peuvent éventuellement être édictées dans le respect de certaines dispositions imposées garantissant la sécurité de l'opération. En conséquence, il est recommandé :

- de garantir l'interdiction de brûlage à l'air libre des résidus de culture et des déchets verts ;
- de limiter les dérogations et en particulier :
 - évaluer ou réévaluer rigoureusement les dérogations dans les zones sensibles du fait d'une qualité de l'air dégradée ;
 - en cas de dérogation, privilégier si possible le brûlage de résidus de cultures ou déchets verts lorsqu'ils sont secs et dans une disposition peu compacte afin d'améliorer l'efficacité de la combustion⁽⁴⁾ ;
 - ne pas autoriser de dérogation lorsqu'un épisode de pollution est prévu sur le territoire concerné ou bien en cas de dépassement des seuils d'information et recommandation et d'alerte, quel que soit le polluant concerné ;
- de poursuivre le développement des filières de compostage et des autres filières de valorisation des résidus de culture et déchets verts.

Par ailleurs, il est également recommandé d'améliorer les connaissances concernant l'identification et la quantification des composés dans les fumées des feux de végétation à l'air libre intervenant couramment en France, y compris des différentes fractions particulières (PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁...) exprimées en masse et en nombre pour les espèces fines.

Références

- Atmo PACA (Association Agréée de Surveillance de la Qualité de l'Air de la région Provence-Alpes-Côte d'Azur). Les vallées des Paillons : Caractérisation chimique des particules PM₁₀ et contributions des sources, 2010. Rapport en ligne : http://www.atmopaca.org/files/et/110419_Rapport_Particules_Vallees_Paillons.pdf
- CIRC (Centre International de Recherche sur le Cancer). Household use of solid fuels and high-temperature frying. *IARC Monogr Eval Carcinog Risks Hum* 2010 ; 95 : 1-430. Publication issue du Working Group on the Evaluation of Carcinogenic Risks to Humans réuni du 10 au 17 octobre 2006.
- CNRS/INSU (Centre National de la Recherche Scientifique/Institut National des Sciences de l'Univers). L'origine surprenante de la pollution atmosphérique particulaire en composés carbonés (programme CARBOSOL). Communiqué de presse du 10 décembre 2007. Rapport en ligne : http://www.insu.cnrs.fr/a2397_origine-surprenante-pollution-atmospherique-particulaire-composes-carbones-programme-carbosol.html
- Ineris (Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques). Facteurs d'émission de polluants de feux simulés de déchets et de produits issus de la biomasse. Verneuil-en-Halatte : Institut National de l'Environnement Industriel et des Risques 2011 : 40 p. (DRC-11-118389-04583A).
- Naeher LP *et al.* Woodsmoke health effects: A review. *Inhal. Toxicol.* 2007 ; 19(1) : 67-106.
- Pissot N. *et al.* Impact de la combustion du bois sur la qualité de l'air ambiant de quatre villes de France : évaluation de l'approche par traceurs organiques. *Pollution Atmosphérique* 2009 ; 203 : 325-33.

(3) Certaines cultures font exception et ne sont pas visées par une interdiction de brûler, conformément aux articles D615-47 et D681-5 du code rural et de la pêche maritime.

(4) En cas de dérogation, des horaires de brûlage à respecter sont préconisés dans la circulaire du 18 novembre 2011 relative à l'interdiction de brûlage à l'air libre des déchets verts, le brûlage en milieu de journée, quand la convection thermique est importante, favorisant une meilleure dilution des polluants dans l'air.