

Traitement mécanique de volumes importants de terres infestées par des rhizomes de renouée du Japon : technique par criblage-concassage

Confrontée au manque de filière de traitement de gros volumes de matériaux infestés par des rhizomes de renouée du Japon, la Compagnie nationale du Rhône a développé une technique très efficace pour neutraliser immédiatement les terres infestées. Les matériaux alluviaux, triés puis broyés finement, peuvent être remis au cours d'eau, valorisés comme substrat de plantation ou évacués dans des installations de stockage de déchets inertes.

Contexte de développement de la méthode

Lors d'opérations de restauration des cours d'eau nécessitant des terrassements (restauration d'annexes fluviales, protection contre les crues, aménagements des friches industrielles, projets portuaires...), les maîtres d'ouvrage se trouvent face à de nombreux peuplements d'espèces exotiques envahissantes, en particulier de renouées asiatiques. Les maîtres d'œuvre doivent ainsi trouver des procédés et des techniques pour éviter de disséminer ces plantes invasives ou de voir leurs aménagements rapidement envahis. Les premières mesures sont l'évitement (le projet évite les zones envahies), mais elles ne sont pas toujours possibles. Le plus souvent, les sols colonisés par les renouées doivent subir un traitement ad hoc sur place ou ailleurs. Il n'existe pas encore de filières adaptées pour traiter les terres envahies par les renouées asiatiques. L'évacuation dans des installations de stockage de déchets non dangereux (ISDND) est coûteuse financièrement et pour l'environnement, car les terres concernées sont très souvent valorisables. Plusieurs maîtres d'œuvre ont ainsi développé dès 2005 des techniques mécaniques visant à éliminer les renouées des déblais mobilisés lors de leurs chantiers.

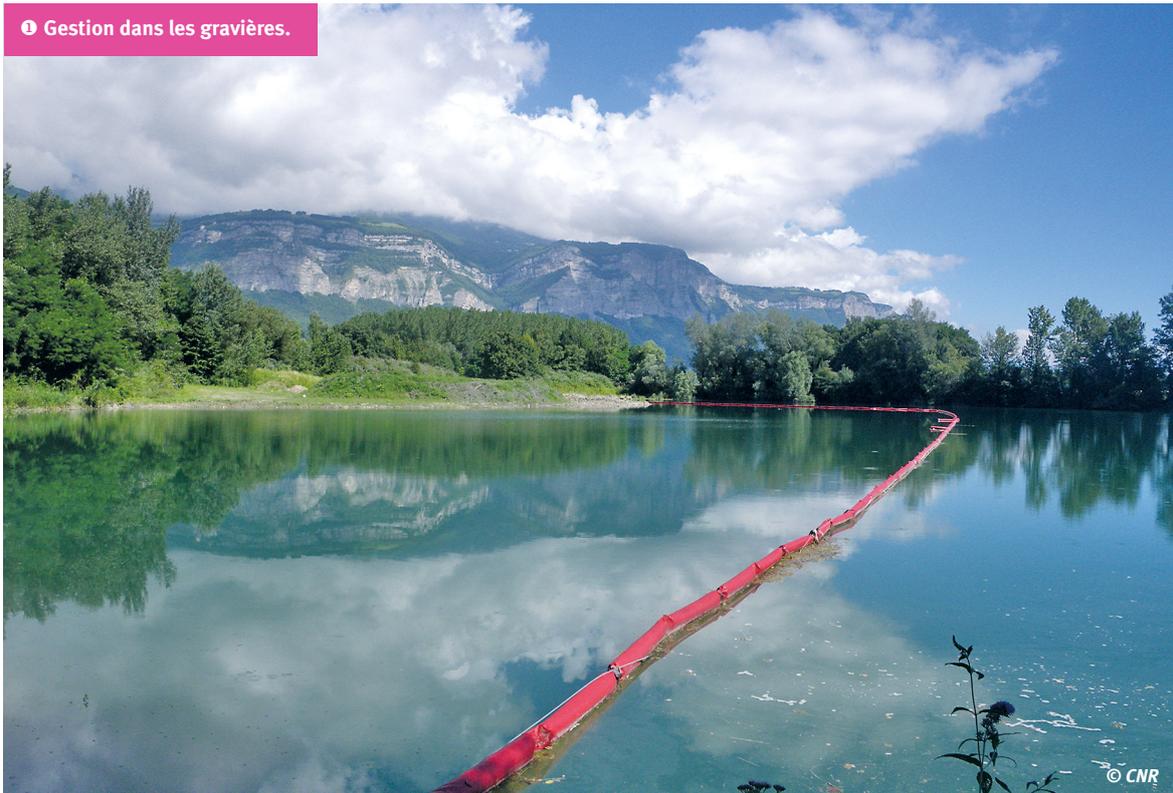
Historique de la recherche de techniques mécaniques de neutralisation des rhizomes de renouées

Les premiers essais de traitements mécaniques des terres envahies par les renouées asiatiques ont débuté en 2005 sur la rivière d'Ain, par le bureau d'études Concept. Cours.d'EAU (C.C.EAU). Ils ont été poursuivis en Suisse et en Allemagne à partir de 2011 grâce à un partenariat avec le *Centre for Agricultural Biosciences International*

(CABI). Onze chantiers expérimentaux ont ainsi été réalisés avec le soutien de multiples gestionnaires, qui ont financé les travaux (Boyer et Gerber, 2013). L'objectif des chantiers était de traiter des débuts de colonisation des cours d'eau en éliminant toutes les renouées. Un procédé efficace d'élimination de la plante a ainsi été mis au point et est depuis utilisé régulièrement par différents maîtres d'œuvre : une trentaine de chantiers suivis par C.C.EAU, un chantier suivi par la Compagnie nationale du Rhône (CNR) et plusieurs autres non recensés et suivis par le SATERCE (Service d'assistance technique à l'entretien et à la restauration des cours d'eau). Le procédé est simple dans ses principes. Il consiste à concasser toute la terre envahie par les rhizomes de la plante, puis à recouvrir celle-ci d'une bâche noire résistante aux ultraviolets et imperméable à l'air et l'eau pendant au moins dix-huit mois. Sa mise en œuvre est plus ou moins complexe selon les sites. En effet, comme il n'existe pas d'outils pouvant concasser des sols suffisamment profondément pour atteindre tous les rhizomes, les sols doivent être déblayés. Ces terrassements ponctuels et diffus le long des cours d'eau nécessitent beaucoup d'ingéniosité pour résoudre les nombreuses difficultés d'accès aux engins. Le concassage est réalisé principalement avec deux types d'outils, le godet-concasseur monté sur un bras de pelle, ou le broyeur à pierre tiré par un tracteur. Le premier outil permet de traiter des petits volumes dans des espaces contraints, le second des volumes plus importants. Les coûts, de quelques dizaines à centaines d'euros par mètre cube de terre, sont très variables selon l'accessibilité des sites.

Le principe d'élimination des plantes est basé sur un pourrissement des rhizomes dans le sol, grâce à leur fragmentation et la pose de la bâche, qui empêche ces

1 Gestion dans les gravières.



fragments de bouturer. Des essais avec des produits de couverture du sol perméables à l'air et l'eau ont montré une efficacité moindre sur la mortalité des rhizomes. Le procédé n'affecte pas la banque de graines du sol.

En 2013, lors du projet Isère Amont, la réalisation d'un dépôt en gravière alluvionnaire a été choisi pour traiter les matériaux contaminés (photo 1). Plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes de terre contenant des rhizomes de renouées ont été déversés. Cette méthode nécessite de disposer d'une gravière capable d'accepter ces matériaux (sans sensibilité écologique). Considéré comme installation de stockage de déchets inertes (ISDI), le site utilisé est soumis au respect de procédures réglementaires, dont l'autorisation d'exploitation et l'assurance d'absence d'impact sur l'environnement. Un contrôle et un suivi des rives est réalisé afin de déterrer les repousses de renouées, qui peuvent s'installer à partir de fragments de rhizomes flottants, et la mise en place d'une barrière flottante (drome) permet de contenir et d'éviter l'échouage de la plupart des rhizomes dérivants. Ce système permet une dévitalisation efficace des rhizomes et peut être associé à une valorisation écologique du site, par la création de zones humides, après l'enfouissement des matériaux. Les rhizomes une fois immergés pourrissent en moins de deux mois (Vigier, 2011). Pour la poursuite du projet Isère Amont, la totalité des matériaux contaminés est gérée selon cette filière très efficace.

Dans le cas où les matériaux ne peuvent être traités et doivent être évacués du site après leur excavation, ils peuvent être déposés dans les ISDND (installations de stockage de déchets non dangereux), ex centre technique d'enfouissement de classe 2 (CET 2) uniquement, mais à des coûts prohibitifs (100 à 150 euros/m³).

Les retours d'expériences des méthodes développées par Mireille Boyer (Boyer, 2009) et son utilisation sur de faibles volumes, les coûts d'acceptation des ISDND, les problématiques foncières pour le stockage/bâchage sur un an et demi, la nécessité de remettre à l'eau dans les phases chantier (interfaces opérationnelles) ont conduit la Compagnie nationale du Rhône à mettre en place des expérimentations afin de trouver une technique de neutralisation immédiate des terres contaminées.

En effet, de plus en plus de projets sont confrontés aujourd'hui à la gestion de gros volumes de terre qui doivent être déplacés. C'est le cas lors de chantiers de protection contre les inondations ou de restauration écologique de milieux, où les renouées sont présentes en quantité. La CNR s'est ainsi naturellement orientée vers une technique de concassage fin, pour dévitaliser les rhizomes et valoriser les terres traitées dans des délais courts.

Recherche d'une méthode expérimentale de criblage/concassage

L'objectif était donc de construire une nouvelle filière de traitement immédiat de matériaux contaminés par des propagules (rhizomes et/ou tiges) de renouées. Cela s'est traduit par une identification des contraintes de traitements, du matériel existant et des entreprises spécialisées capables d'industrialiser la technique. Différents tests ont été réalisés dans le but de trouver une méthode répondant à ces contraintes, au traitement de volumes importants (plusieurs dizaines de milliers de mètres cubes) et économiquement acceptable.

Un des objectifs était de trouver des installations mobiles et rapides à mettre en œuvre.

► La rencontre avec des professionnels du traitement des déchets verts et des tests de différentes machines ont permis d'approcher une combinaison de techniques prometteuses en terme de résultats.

Description de la procédure, des ateliers associés et des points de vigilance

Préparation du chantier

Avant toute opération d'excavation de matériaux, il est indispensable de réaliser une cartographie des renouées asiatiques présentes sur les zones de chantiers, afin d'estimer les volumes de terres contaminées qui nécessiteront un traitement.

Puis, l'ensemble de la biomasse aérienne (tiges et feuilles des renouées) doit être fauchée et évacuée pour incinération. En effet, les tiges ne peuvent pas être traitées par la même technique. Elles doivent faire l'objet d'une attention particulière, notamment lors du stockage et du déplacement. Un fragment de tige étant capable de redonner plusieurs massifs, le matériel et les engins utilisés lors de la fauche doivent être impérativement nettoyés avant de quitter le site traité.

Enfin, les matériaux contenant les rhizomes sont excavés et stockés sur une plateforme avant traitement physique par la méthode de criblage puis de concassage. Un merlon permettant de bien confiner la zone est dressé sur le pourtour stocks.

Une fois neutralisés par la procédure suivante, ces matériaux pourront être évacués ou valorisés.

Le criblage

Le cribleur joue un rôle essentiel pour générer un fraction fine avec pas ou peu de rhizomes de renouées. Il est composé d'un tamis rotatif dont le maillage doit être adapté selon les sols. Dans les différents chantiers, la machine utilisée (photos ② et ③) est un crible à tamis rotatif muni d'une vis sans fin (modèle Trommel SM-620 de la marque DOPPSTADT). Ses dimensions et caractéristiques techniques sont les suivantes :

- longueur : 5,50 m ;
- diamètre : 2 m ;
- maille : 20 mm (sur quelques opérations récentes – marges alluviales – un trommel avec des mailles de 10 mm a été utilisé).

Le choix de l'ouverture de la grille est discriminant dans l'efficacité du criblage et est dépendant du type de matériaux.

Le rendement va dépendre essentiellement de la qualité des matériaux traités et de l'humidité.

En fonction des caractéristiques granulométriques des matériaux, la proportion en sortie de crible va différer (part entre terres fines et refus contenant graviers, rhizomes et bois...). Cette donnée est à prendre en compte dans l'estimation des volumes qui seront concassés, car l'impact financier est plus conséquent pour l'ensemble de la procédure.

En général, le criblage permet de traiter autour de 50 à 75 % du volume initial de matériaux contaminés (dans le cas de matériaux de rivières). À partir d'un certain taux de refus (> à 70 %), le criblage n'est plus judicieux, il convient de passer directement au concassage.

Il est possible d'atteindre un rendement de 500 à 700 m³ par jour pour le criblage.

D'autres marques de cribleurs rotatifs ont été testées. Sur un chantier de confortement des digues de l'Isère et de l'Arc en Savoie porté par le Syndicat mixte de l'Isère et de l'Arc en Combe de Savoie (SISARC), Aquabio a comparé l'effet d'un criblage des alluvions à 0/10 mm et à 0/20 mm réalisé avec un NEMUS 2700 de la marque Komptech. Sur ce type de chantier mobilisant de très gros volumes de matériaux, les rhizomes sont souvent très dilués et tous les tests doivent être bien réfléchis et préparés à l'avance pour être significatifs. Les fragments de rhizomes représentaient 2 % des fragments de végétation contenus dans les déblais et ils étaient présents avec une densité initiale moyenne de 51 fragments/m³ (écart type=29). Le criblage sépare les différentes fractions granulométriques minérales de façon simple et prévisible. Pour les végétaux, cela est moins évident. Le crible opère un tri sur des fragments végétatifs de forme complexe et sur les fragments ligneux de diamètre dépassant la maille du crible. Par contre, il laisse passer les petits fragments de diamètre inférieur, mais de longueurs variables. Ainsi des rhizomes fins et portant plusieurs nœuds peuvent



② Tamis rotatif du Trommel avec maille de 20 mm, fraction fine.



③ Tamis rotatif du TROMMEL, fraction refus à 20 mm.

passer au travers du crible. Le criblage à 0/20 mm a permis de retirer en moyenne 99% (écart type=0,9%) de la biomasse fraîche de rhizomes et 86% (écart type= 4%) des fragments. Mais il est passé dans le crible des rhizomes avec une longueur moyenne de 7,6 cm (écart type = 4,6 cm), le plus long atteignant même 22,5 cm. Avec la maille 0/10 mm, 99% (écart type = 2%) en moyenne des fragments ont été éliminés. Le plus long fragment observé faisait 6 cm pour un diamètre de 6 mm.

Le concassage

Le concassage fin (< 10 mm) des matériaux (refus à 10 mm ou 20 mm) contenant les rhizomes de renouées est réalisé avec un concasseur à percussion (modèle QI240 de la marque SANDVIK ou similaire) muni d'un circuit fermé. Cela signifie que tant que les matériaux n'ont pas atteint la fraction de 0/10 mm (correspondant à une dévitalisation suffisante du stock de rhizomes pour empêcher toute repousse), ils sont réinjectés dans la chambre de concassage. L'humidité est moins limitante car l'échauffement du broyeur permet d'assurer un séchage dans la chambre à percussion. Lors de la mise en place de cet équipement, il est fortement conseillé d'utiliser des mâchoires neuves, et de les serrer au maximum (espacement de 5 cm) afin d'obtenir la fraction demandée. Les rhizomes de renouée sont ainsi rendus à l'état de fibres de quelques millimètres à 3 cm de long (photo 4). Les nœuds, depuis lesquels la plante peut se régénérer, sont entièrement détruits et désagrégés. Ils n'ont plus d'intégrité physiologique. Il est possible d'atteindre un rendement de 400 à 600 tonnes/jour pour cette étape.

Contrôle des traitements mécaniques

Lors des essais réalisés en 2016 dans le cadre des opérations du Syndicat mixte d'aménagement de gestion de l'Yzeron, du Ratier et du Charbonnières (SAGYRC), les stocks issus des deux fractions avaient été échantillonnés et mis en culture. Après six semaines, aucune repousse de renouées n'avait été constatée ni sur le criblât 0/20 mm, ni sur le concassé 0/10 mm.

Le plus simple est toutefois le suivi du stock des matériaux traités (cas des opérations du SAGYRC). Dans le cas d'un résultat négatif du test (non-reprise des renouées), les terres peuvent être revalorisées ou évacuées dans différentes filières (cf. ci-après).

Sur la fraction 0/10 mm issue du concassage, la régularité dans l'efficacité du traitement est élevée. Pour le criblage, une variabilité est observable selon la nature des gisements à traiter et les conditions d'humidité.

Devenir des matériaux traités

Les deux fractions obtenues après les traitements mécaniques des matériaux peuvent être orientées vers différentes filières. La plus classique est la mise en stockage définitif dans les centre de classe 3. La fraction fine issue du criblage dépourvue des rhizomes peut être réutilisée comme terre végétale lors des réfections de digue ou des travaux en berge. Cette filière a été mise en œuvre sur les opérations du Syndicat mixte des bassins hydrauliques de l'Isère (SYMBHI) sur la Romanche et du SAGYRC dans l'Ouest Lyonnais (Yzeron). Des analyses agronomiques ont été réalisées afin d'amender le cas échéant ces terres (75% terre, 25% terreau). Des contrôles ont été mis en place afin d'ôter les jeunes pousses issues des rhizomes résiduels. Cette tâche est rendue d'autant plus facile que

ces terres sont mises sur des faibles épaisseurs (moins de 30 cm). Les retours sont très positifs et montrent une absence d'installation de foyers de renouées asiatiques. Ceci s'inscrit dans une logique d'économie circulaire à l'intérieur des chantiers.

Le 0/10 mm issu du concassage fin a été réutilisé comme revêtement de surface d'un cheminement dans le cadre des projets sur l'Yzeron. Ce produit très granuleux est avantageux pour des ouvrages provisoires (pistes, plateforme...).

Sur les projets de restauration des annexes fluviales sur le Rhône conduits par la CNR, les matériaux doivent être remis au Rhône afin d'assurer la continuité sédimentaire. Les autorisations stipulaient la nécessité de rendre ces terres saines au regard du risque de contamination par les rhizomes de renouées.

Les points de vigilance et d'amélioration issus des retours d'expérience des différents chantiers réalisés

Dans le cas de matériaux trop humides et/ou trop argileux, les grilles de criblage vont se colmater rapidement (malgré la présence de brosse de nettoyage intégrée à la machine). Au-delà de 25% de teneur en eau, une dégradation du traitement est observée (production de fines plus importante dans la fraction 20 mm/grand diamètre et passage de rhizomes dans la fraction fine). Le criblage est alors considéré comme « mauvais ». Il est donc nécessaire de bien aérer les matériaux avant le traitement, en réalisant des andains, ou des tranchées pour favoriser l'évacuation de l'humidité. Cela implique une bonne gestion des stocks provisoires de matériaux contaminés et des périodes d'intervention. Autrement, il est conseillé d'intervenir pendant les périodes sèches (été), qui sont plus favorables pour ce traitement. Un travail en hiver est tout de même possible si les taux d'humidité limites sont respectés et selon les conditions météorologiques.

La maille du trommel doit être adaptée à la densité de rhizomes dans les déblais à traiter. Si la quantité de rhizomes est importante, il peut en effet rester dans le criblât une quantité de rhizomes rendant difficile ou impossible la gestion ultérieure des repousses par des opérations manuelles de contrôle des surfaces. Dans l'essai sur l'Isère avec le SISARC, la quantité de rhizomes restant dans le criblât à 0-20 mm a par exemple été jugée trop importante et un criblage à 0-10 mm a été effectué.



4 Rhizomes de renouée finement concassés.

© CNR

La spécificité originelle des trommels (machines destinées à travailler dans le traitement des bois et des composts) fait qu'ils ne peuvent admettre des granulométries supérieures à 250 mm-300 mm. Une coupure est dans ce cas nécessaire à l'aide d'un scalpeur (ex. : chantier de la Romanche).

Les conditions d'humidité associées à un taux de fines trop important sont également à maîtriser lors de la phase du concassage fin. Le rendement des machines sera fortement dégradé (quelques tonnes/heure). Ainsi l'allongement du temps de concassage induira une perte financière perturbant l'économie des marchés initiaux. Par ailleurs, la présence de gros éléments (boules supérieures à 200 mm) cumulée à la dureté des matériaux grossiers (gneiss, granite...) pénalisent aussi le rendement du concassage et accélère l'usure des consommables (battoirs et plaques de choc).

Le contrôle de l'efficacité du criblage est assez fastidieux et complexe compte tenu des volumes importants à échantillonner pour avoir une image représentative. En pratique, les sols envahis sont généralement très dilués dans les déblais au moment des opérations de terrassement et la densité de rhizomes est souvent très hétérogène dans le matériau à traiter. À la sortie du crible, la détection des éventuels rhizomes pourra nécessiter par conséquent de tamiser des volumes importants et de faire plusieurs répétitions. L'exemple du chantier du SISARC avec des résultats différents de ceux de l'Yzeron ou du Rhône illustre bien la nécessité de ces évaluations précises et adaptée à chaque site.

Sur le plan de l'organisation du chantier, des précautions spécifiques doivent être appliquées pour les mouvements des matériaux afin de limiter les contaminations diffuses lors des manipulations des stocks. Le nettoyage du matériel et des engins de chantier reste de vigueur en fin de chaque opération. De plus, les surfaces pour déposer les stocks envahis par les rhizomes de renouées doivent aussi être gérées de manière spécifique pour éviter tout risque ultérieur de colonisation par les renouées asiatiques.

À ce jour, ces nuances s'acquièrent au travers des chantiers, elles ne sont pas traduites dans des normes détaillées. La capitalisation des retours d'expérience est donc indispensable. Au total, la Compagnie nationale du Rhône a supervisé le traitement de plus de 100 000 m³ avec succès entre 2014 et 2018.

Au regard de ces observations, il est primordial de réaliser une caractérisation géotechnique (norme GTR) des gisements à traiter dans les études amont afin de bien organiser les périodes d'intervention, les machines à mettre en œuvre, le choix des grilles, les points de contrôle.

Pour finir, une attention doit être portée sur les nouveaux opérateurs qui s'initient à ces techniques. Un accompagnement technique est nécessaire pour limiter les digressions dans les utilisations des ateliers par méconnaissance des objectifs à atteindre et les points d'arrêt à réaliser.

Synthèse du protocole

Pour atteindre un résultat satisfaisant, il est recommandé de suivre le protocole suivant (figure 1) :

- préparer une zone de stockage des matériaux de 2 000 m² minimum afin de disposer de suffisamment de place pour réaliser les traitements, sans risque de mélange entre les stocks ;
- réaliser les opérations de criblage/concassage dans l'ordre suivant :
 - passage des matériaux contaminés dans le crible à tamis rotatif,
 - stockage de la fraction 0/10 mm ou 0/20 mm,
 - la fraction refus/Grand D mm doit être mise de côté pour le concassage,
 - prélèvement dans le stock de fraction fine, pour la procédure de contrôle,
 - passage des matériaux refus/Grand D mm obtenus en sortie de cribleur, dans le broyeur à pierre à percussion et fonctionnant en circuit fermé à 10 mm,
 - stockage de la fraction 0/10 mm obtenue en sortie du concasseur,
 - prélèvement dans le stock de 0/10 mm issu du concassage, pour la procédure de contrôle ;
- une fois les tests de validation obtenus, les stocks de terre neutralisés peuvent être libérés selon les destinations choisies.

Les coûts de traitement

Le tableau 1 résume les coûts d'utilisation de cette méthode.

Ces prix sont issus des marchés intégrant ce traitement (plus d'une dizaine d'opérations). Les volumes traités étaient compris entre 7 000 et 20 000 m³.

Pour des plus faibles volumes (quelques centaines ou < à 3 000 m³), la mise en place de ces techniques est plus confrontée à l'impossibilité de faire venir les entreprises pour des volumes ne mobilisant pas longtemps les ateliers qu'aux prix plus relevés prescrits.

Conclusions et perspectives

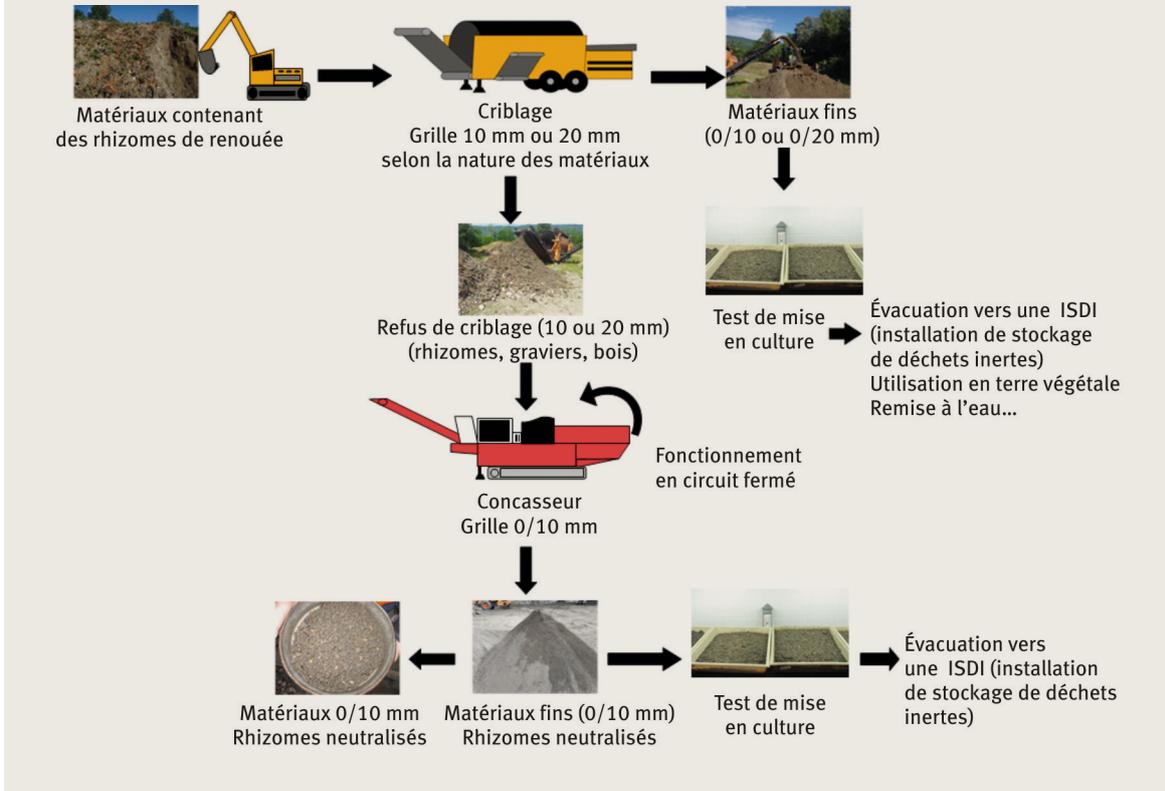
Ce procédé de traitement mécanique des matériaux contaminés par les renouées du Japon a permis d'obtenir de bons résultats sur des volumes significatifs sur des cours d'eau différents. Des améliorations sont encore nécessaires sur la régularité et la robustesse du procédé. Celles-ci ne peuvent être amenées qu'au travers de la multiplication de situations différentes (matériaux, climat, contexte, acteurs...).

1 Coût d'utilisation de la méthode.

Décomposition du prix	Coût HT
Installation cribleur	1 000 à 1 500 euros
Installation concasseur circuit fermé	1 200 à 5 500 euros
Criblage à 10 mm	5 à 8 euros/m ³
Concassage à 0/10 mm	10 à 15 euros/m ³
Contrôle	1 000 à 2 000 euros
Prise en charge en installations de stockage de déchets inertes*	6 à 13 euros/m ³

* sans transport.

1 Description de la procédure du criblage/concassage pour une neutralisation immédiate.



Cette méthodologie commence à bien se structurer chez les professionnels des travaux publics. Différentes entreprises disposent de matériel conforme et de références d'opérations significatives. Par ailleurs, les connexions entre les mandataires des marchés principaux et des sous-traitants spécialisés pour ces prestations sont de plus en plus efficaces.

Des synergies ou des organisations au niveau des territoires doivent être développées afin d'offrir à tout producteur de matériaux contaminés une solution de traitement sur une plateforme spécialisée. Ceci permettrait d'apporter des solutions pour les faibles volumes et avec une logique d'économie circulaire (production de terre végétale). ■

Les auteurs

Christophe MOIROUD et William BRASIER
Compagnie Nationale du Rhône,
2 rue André Bonin, F-69316 Lyon Cedex 04, France.
✉ c.moiroud@cnr.tm.fr
✉ w.brasier@cnr.tm.fr

Mireille BOYER
Aquabio
108 allée du lac Léman,
F-73290 La Motte Servolex, France.
✉ mireille.boyer@aquabio-conseil.com

Remerciements

Remerciements à tous les maîtres d'ouvrages (SAGYRC, SYMBHI, SISARC) et les entreprises (Ain Environnement) dont le personnel a participé au bon déroulement des expérimentations de terrain et de l'industrialisation de cette filière.

EN SAVOIR PLUS...

BOYER, M., 2009, Une nouvelle technique d'éradication mécanique des renouées du Japon testée avec succès au bord de l'Ain et de l'Isère, *Ingénieries-EAT*, n° 57-58, p. 17-32.

BOYER, M., GERBER, E., 2013, *Expérimentations d'une méthode de gestion mécanisée des renouées exotiques envahissantes (Fallopia sp) en France, Suisse et Allemagne*, Centre de Ressources Espèces Exotiques Envahissantes, disponible sur : <http://especies-exotiques-envahissantes.fr/fiches-exemples/flore-2/>

SARAT, E., MAZAUBERT, E., DUTARTRE, A., POULET, N., SOUBEYRAN, Y., 2015b, *Les espèces exotiques envahissantes dans les milieux aquatiques. Expériences de gestion*, Onema, vol. 2, n° 17, 242 p.

VIGIER, C., 2011, *Lutte contre la prolifération des renouées asiatiques sur les bords du Rhône*, Master 2 Sciences de l'Environnement Terrestre, 143 p.