

RÉSUMÉ

PHYTOREMÉDIATION DES ZONES POLLUÉES PAR DU PÉTROLE

Coordinateur Scientifique: Professeur, Dr. PELE Maria

Doctorant: SCARLAT VirgilGheorghită

MOTS CLÉS: pollution du sol, pétrole brut, sels, bioremédiation, phytoremédiation, perlite

POLLUTION DE L'ENVIRONNEMENT

Le principal facteur qui transforme presque totalement ou irréversiblement les ressources naturelles renouvelables dans des ressources non renouvelables est la pollution. En raison de l'activité humaine, de graves problèmes de pollution ont surgi au cours des derniers siècles sur l'ensemble de l'écosystème de la Terre. La pollution de plus en plus courante de nos jours est la pollution par le pétrole brut ou par les produits pétroliers du sol, des eaux vives, des mers et des océans. Les effets négatifs de la pollution des sols sur les produits pétroliers sont peut-être moins perceptibles, attendu qu'elles sont rarement ou moins présentées dans les médias, mais ils durent longtemps et ont un impact négatif important sur les zones agricoles. Le transport ou l'extraction du pétrole brut s'effectuant en présence de sels, ainsi que d'une pollution par des résidus de pétrole, il existe aussi une pollution des eaux usées, salée, susceptible de provoquer une forte salinisation des sols pollués par du pétrole.

En Europe, la pollution par les produits pétroliers, suivi de celle par les sels représente environ 11% des zones contaminées avec différents polluants. La salinisation concerne en Europe environ 3,8 Mha. En Roumanie, les sols salins ou sodiques sont concentrés dans le département de Prahova, avec dépôts de pétrole et des raffineries, ainsi que dans le sud du pays, dans des zones traversées par des oléoducs. Il existe également des zones fortement salines, impropres à l'agriculture, à la proximité de montagnes Apuseni.

Afin de remédier les zones polluées, une série de lois et de stratégies ont été élaborées dans l'Union Européenne pour guider la politique européenne de l'environnement jusqu'au 2020 et au-delà. Dans ce contexte, le sol fertile et les terres productives sont considérés comme faisant partie du « capital naturel », à être gérés de manière durable et correctement protégés, tandis que les actions visant à remédier les zones contaminées sont encouragées.

Les méthodes classiques de dépollution des sols contaminés par des produits pétroliers s'appliquent à l'échelon international, mais la plupart d'entre elles ont d'inconvénients: génération d'effluents liquides ou gazeux nécessitant un traitement ou un stockage supplémentaire, durée de fonctionnement prolongée, difficultés de surveillance et de contrôle, coûts élevés d'investissement et opération.

La biotechnologie environnementale est une alternative pour la remédiation des sols contaminés à la fois par l'utilisation des microorganismes et/ ou des plantes capables de réduire, voire d'éliminer, la présence de polluants du sol. Les principales voies de remédiation en utilisant des agents vivants sont la *bioremédiation* et la *phytoremédiation*.

La bioremédiation consiste en l'utilisation des organismes vivants, en particulier les micro-organismes, afin d'éliminer les contaminants de l'environnement.

La phytoremédiation implique l'utilisation de plantes vertes pour la décontamination des zones polluées. La capacité d'assimilation des contaminants par les plantes dépend dans une large mesure des espèces cultivées et des conditions environnementales. De plus, dans la nature, les plantes forment avec les micro-organismes du sol un ensemble de connexions, en relations de symbiose, pour se développer et contribuer, si nécessaire, à l'élimination des contaminants.

OBJECTIFS PRINCIPAUX

Dans le contexte mondial actuel, afin de remédier les zones polluées par des méthodes naturelles, l'objectif principal de cette thèse était de mettre en place un processus de remédiation des sols pollués avec des produits pétroliers et des sales en utilisant des méthodes respectueuses de l'environnement.

Ainsi, les recherches menées dans cette thèse de doctorat visaient les objectifs majeurs suivants:

- ❖ Évaluation du processus de bioremédiation en évaluant la capacité de consommation de produits pétroliers par des microorganismes sélectionnés dans la zone polluée.
- ❖ Expérimentation en serre et sur le terrain de méthodes de phytoremédiation et de détermination des propriétés biochimiques et de la capacité des plantes cultivées à absorber les ions sodium, potassium, calcium et magnésium des sols pollués.
- ❖ Élaboration et développement d'une méthode d'amélioration de la capacité de phytoremédiation des plantes sélectionnées par l'ajout dans le sol d'un produit chimiquement inerte (la perlite).
- ❖ Évaluation de la contribution de la perlite dans le processus de phytoremédiation.
- ❖ Évaluation du processus de phytoremédiation sur le sol en déterminant les concentrations des ions polluants (sodium, calcium, magnésium) dans le sol pollué.

Le sol pollué utilisé pour les expériences fait partie des zones agricoles du village d'Icoana, la commune d'Icoana dans le département d'Olt, une zone de fréquents accidents de pollution par les produits pétroliers et les sels.

MÉTHODES DE TRAVAIL

Les expériences pratiques ont été réalisées sur le terrain, dans la commune d'Icoana, sur des sols pollués (plate-bande 71) et sol non pollué, ainsi qu'à l'USAMV de Bucarest, en utilisant des échantillons de sols pollués et non pollués. Les analyses de microbiologie, de biochimie et de minéraux ont été effectuées dans les laboratoires de la Faculté de Biotechnologie - Université des Sciences Agronomiques et de Médecine Vétérinaire de Bucarest.

Les matériaux biologiques utilisés pour étudier le processus de phytoremédiation ont été: de la laitue (*Lactuca sativa L.*) du sol variété Butterhead, des pommes de terre (*Solanum tuberosum*), du sol variété Colette, des tomates (*Lycopersicon esculentum L*) du sol hybride variété Cindel F1, du poivre (*Capsicum annum*) du sol variété
Albaregia, des

haricots (*Phaseolus vulgaris*), du sol variété *Verdana*, du blé (*Triticum aestivum*), du sol variété *Glosa*, du maïs (*Zea mays*), du sol *Olt* et de l'argousier (*Hippophae rhamnoides L.*). Pour les expériences d'amélioration de la qualité du sol, *Perlite horticole* de 5 mm a été utilisé.

Les variantes de sol utilisées dans les expériences en serre étaient les suivantes: V0-Sol non pollué; V1-Sol pollué; V2-Sol pollué plus 25% de perlite; V3-Sol pollué plus 50% de perlite; V4-Sol plus 75% de perlite (2014) ainsi que les variantes de sols; V0-Sol non solubilisé; V1-Sol pollué et V2-Sol pollué plus 50% perlite. (Sur le terrain et dans la serre) (2015, 2016, 2017).

Les analyses de sol, de micro-organismes et de plantes ont été effectuées conformément aux lois en vigueur, respectivement à l'aide de méthodes validées par des laboratoires internationaux ou l'ISO, comme suit: *la détermination de la substance sèche* a été effectuée conformément à la norme ISO 751 de 1998; *la détermination des sucres réducteurs* a été effectuée par la méthode de l'acide 3,5-dinitrosalicylique (DNS); *la détermination des protéines* a été effectuée en utilisant la méthode de Lowry; *la détermination de la chlorophylle* a été réalisée par l'extraction de chlorophylles au N, N-diméthylformamide; pour *la minéralisation par calcination à 450°*, on a utilisé la méthode Răuță et Chiriac, 1980; *la détermination de la concentration en sodium* a été réalisée par la photométrie de flamme; *la détermination de la concentration en potassium* a été effectuée par la méthode Egner-Riehm-Domingo; *la détermination de la concentration en calcium et magnésium* a été réalisée par la méthode décrite par El Mahi et al. en 1987; *la détermination de l'activité de la superoxyde dismutase* par la méthode de Winterbourn et al. tel que d'lordachescu et de Dumitru; *la détermination de l'activité de la catalase* de été décrite par lordachescu et Dumitru; *la détermination de l'activité de la peroxydase* par la méthode de Brad.

On a effectué l'échantillonnage des sols conformément à l'Ordre n° 184/1997 et la détermination des produits pétroliers du sol conformément à la méthode 1664 de l'Agence Américaine de Protection de l'Environnement.

L'isolement, l'identification et l'évaluation de la capacité d'absorption de produits pétroliers par des microorganismes ont été réalisés à l'aide de méthodes microbiologiques classiques de culture en éprouvettes et en boîtes de Pétri. L'évaluation de la capacité de dégradation des produits pétroliers a été réalisée en déterminant la teneur en produits pétroliers à différents intervalles de temps après l'inoculation du sol et du milieu pollués contenant des quantités connues de diesel, d'essence ou de pétrole brut avec les microorganismes sélectionnés.

RÉSULTATS OBTENUS

L'évaluation du niveau de pollution avecpétrole brut. En septembre 2012, une zone agricole d'environ 5 hectares dans le village d'Icoana a été polluée par du pétrole brut par rupture d'un oléoduc. Pour l'extraction du produit pétrolier dispersé à partir des échantillons de sols prélevés, un mélange d'hexane et d'éther de pétrole dans un rapport de 1: 1 a été utilisé de manière optimale en tant que solvant. Les résultats obtenus pour les échantillons de sol recueillis en novembre ont montré les valeurs des produits pétroliers beaucoup plus grandes, d'environ 300 fois jusqu'à 65 fois selon la distance par rapport à la zone de l'accident, par rapport à la limite maximale autorisée pour les terrains agricoles (LMA = 500 ppm).

L'utilisation de microorganismes spécifiques à la zone polluée dans le processus de bioremédiation. À partir d'échantillons de sol pollués prélevés à l'automne 2012, dix complexes de microorganismes ont été isolés. La purification et identification exacte

des souches ont nécessité des évaluations spécifiques et à long terme par des microbiologistes spécialisés dans ce domaine. En conséquence, 10 souches pures, sept souches d'*Aspergillus*, une souche de *Penicillium* et deux souches du *Trichoderma* ont été obtenues.

Leurs tests ont été effectués dans des conditions similaires à celles d'une culture de terrain afin de donner aux microorganismes une capacité de développement optimale, pour chaque échantillon de sol, et

pour une quantité correspondante de solution nutritive {25 g (NH₄)₃ PO₄, 25 g de K₂HPO₄, 2 g de MgSO₄ et 100 g de NaCl et 1 litre d'eau}. Dans le sol, les échantillons ainsi préparés étaient produits pétroliers, essence) et inoculé avec 10 mg de mycélium. Les micro-organismes les plus actifs que nous avons sélectionnés pour la consommation de carburant ont perdu une souche d'*Aspergillus niger* et deux souches d'*Aspergillus ochraceus* (An, Ao6, Ao7). Il a été déterminé que plus la concentration d'hydrocarbures contenant des molécules de marnes est élevée, plus la capacité des micro-organismes à les détruire est faible. Aucun des microorganismes que nous avons testés n'a réussi à décomposer complètement l'essence, le plus léger des carburants testés au cours de la période d'incubation de 40 jours à la température ambiante. La souche la plus active était *Aspergillus niger*, qui parvient à décomposer l'essence et le diesel jusqu'à 78%, le diesel jusqu'à 60% et le pétrole brut jusqu'à 50% après 40 jours d'incubation.

Chaque souche a été testée séparément sur un sol pollué. Mais, nos expériences ont montré que l'année suivante, après la pollution, c'est-à-dire au printemps 2013, le sol contaminé ne contenait que très peu de produits pétroliers, représentés par l'asphaltènes.

La biodégradation des produits pétroliers dans le sol est influencée par un certain nombre de facteurs tels que la composition de ces composés, la structure du sol, la température, les précipitations et les travaux sur le sol pollué. Tous ces facteurs, ainsi que la synergie des consortiums de micro-organismes présents dans le sol, ont permis, après environ sept mois d'échantillonnage du sol, de "dégrader pratiquement tous les produits pétroliers".

L'enrichissement du sol en engrais, notamment organiques, détermine l'augmentation de l'efficacité des micro-organismes appliqués ou du sol.

En raison des résultats obtenus, il convient de souligner que, par le processus de bioremédiation, l'addition d'un ou plusieurs microorganismes spécifiques ayant une grande capacité de consommation de produits pétroliers dans un sol pollué, la période de dégradation est considérablement réduite.

En conclusion, dans les zones où la pollution par les produits pétroliers est susceptible de se produire, il est conseillé de créer une banque de microorganismes spécifiques très actifs à inoculer dans le sol pollué afin d'enrichir les microorganismes du sol et d'accélérer le processus de bioremédiation.

Expériences en serre sur les méthodes de phytoremédiation

Bien qu'au printemps 2013, les asphaltènes aient été exclus des produits pétroliers polluants, les sels qui ont accompagné l'éruption pétrolière ont transformé les terres polluées en un champ de sel, inadapté aux cultures agricoles habituelles de la commune d'Icoana. Les différentes études ont montré que la période de dépollution de tels sols est assez longue, en fonction du degré de pollution (la plupart d'entre eux plus

Phytoremédiation des zones polluées par du pétrole

de 10-13 ans à compter de la date de la pollution), la nature du sol, les plantes cultivées, les conditions physico-chimiques naturelles et l'efficacité des traitements appliqués (par exemple, la nature de la fertilisation).

Dans la serre, des expériences ont été menées pour suivre la capacité de plantes à tolérances différentes à la conductivité électrique, à développer et à absorber l'ions de sodium, potassium, calcium et magnésium de sols pollués. Afin d'améliorer le processus de phytoremédiation, afin de combiner de manière synergique l'effet des plantes cultivées, un traitement approprié sur la qualité du sol a également été initié par l'ajout d'un matériel chimiquement inerte. Dans ce contexte, outre les variantes de sol non pollué et de sol pollué, on a réalisé des variantes de sol avec un ajout de perlite de 25%, 50% et 75% respectivement.

Expériences sur les laitues (CE = 1,3 dS/m) et les pommes de terre (CE = 1,7 dS/m).

Sur le sol pollué, seule une plante sur trois a été visiblement augmentée à la fois en laitue et en pomme de terre. Lorsque la laitue était récoltée, seule la laitue cultivée sur le sol normal formait des têtes spécifiques. Les plantes sur le sol pollué étaient petites et sans inflorescence. Les plantes cultivées sur des variantes de sol avec perlite ajoutée ne développaient pas de têtes, les feuilles poussant sur une tige haute, mais les feuilles des échantillons cultivés sur un sol pollué avec 50% et 75% de perlite ajoutée, avaient les couleurs proches de la laitue normale et un nombre croissant de feuilles en accord avec l'augmentation de la concentration de perlite.

Dans le cas des pommes de terre, à mesure que la concentration de perlite ajoutée dans le sol augmentait, l'apparence des plantes de la pomme de terre se rapprochait de celle des plantes cultivées sur un sol non pollué. Les récoltes de pommes de terre obtenues par plante représentaient 16,77% sur des sols pollués, 41,3% sur des sols avec un ajout de 25% de perlite, 72,1% sur des sols avec un ajout de 50% de perlite et 95,94% sur les sols avec un ajout de 75% de perlite par rapport à la production sur un sol non pollué. De plus, les pommes de terre récoltées dans le sol pollué avaient une couleur verte correspondant à une teneur élevée en solanine, un alcaloïde toxique pour l'homme.

Du point de vue biochimique, nous avons analysé la concentration en protéines dans les feuilles de laitue, les feuilles de pomme de terre et les tubercules de pomme de terre, car des concentrations élevées en protéines supérieures aux valeurs moyennes des plantes cultivées sur un sol sain impliquaient principalement des concentrations élevées d'enzymes impliquées dans le processus de photosynthèse et en particulier celles antioxydantes, comme réponse au stress toxique provoqué par des concentrations élevées de sels, mais des concentrations faibles peuvent également indiquer l'incapacité des plantes à réagir au stress toxique.

En cas de laitue cultivée sur un sol non pollué, la concentration en protéines était similaire à celle de la littérature (1,62 g/ 100 g de feuilles). Les plantes cultivées sur les variantes du sol pollué, respectivement avec un ajout de perlite, le contenu en protéines est beaucoup plus petit et croît avec la concentration de perlite ajoutée. Ce fait montre la capacité réduite de la laitue à s'adapter au stress salin et à la synthèse d'enzymes antioxydantes.

Dans le même temps, la teneur en sodium de Frisk est de 1,5 fois la laitue obtenue sur le sol pollué supérieure à celle du sol non pollué. Cette teneur diminue avec l'augmentation de la teneur en perlite dans le sol.

Dans le cas des pommes de terre, la concentration moyenne en protéines des tubercules des pommes de terre cultivés sur les différents substrats diminue dans

SCARLAT Virgil Gheorghită - Thèse de doctorat

l'ordre de 2,47 g/ 100 g (sol non pollué), 2,2 g/100 g (sol pollué plus 75% de perlite), 2,1 g/100 g (Sol pollué plus 50% de perlite), 1,9 g/100 g (Sol pollué plus 25% de perlite) et 1,8 g/ 100 g (sol pollué). La teneur en protéines des feuilles était supérieure à celle des tubercules et diminuait dans l'ordre de 4,20 g/ 100 g matériel végétal (sol pollué plus 75% de perlite), 4,2 g / 100 g (sol non pollué), 3,5 g/ 100 g (sol pollué plus 50% de perlite), 2,5 g/ 100 g (sol pollué plus 25% de perlite) et 2,2 g/ 100 g (sol pollué).

La teneur en Na dans les tubercules était supérieure à celle de la feuille. Ainsi, les tubercules de pomme de terre contenaient: sol non pollué - 28 ppm, sol pollué - 47 ppm, sol pollué +25% de perlite - 42% ppm, sol pollué +50% de perlite - 35% ppm et sol pollué +75% de perlite - 30% ppm. En même temps, dans les feuilles, nous avons obtenu: sol non pollué - 51 ppm, sol pollué - 62 ppm, sol pollué + 25% de perlite - 63% ppm, sol pollué + 50% de perlite - 55% ppm et sol pollué + 75% de perlite - 50% ppm.

L'analyse comparative des données concernant la laitue et les pommes de terre montre que la réaction de la pomme de terre au sol pollué et à l'ajoute de perlite est meilleure que celle de la laitue, mais les deux légumes ne font que confirmer leur tolérance faible à la conductivité électrique.

Cependant, il faut mentionner que de telles études utilisant de la laitue et des pommes de terre sont extrêmement basses, la plupart d'entre elles utilisant différentes herbes à une tolérance élevée au sel ou parfois à des céréales.

Les expériences en serre dans les années 2016 et 2017 ont été réalisées avec des tomates. Celles-ci ont été choisies parce qu'elles ont une tolérance au sel plus élevée (CE = 2,5 dS / m), ce qui leur permet de mieux se comporter par rapport à la laitue et aux pommes de terre, étant souvent cultivées dans des zones situées dans la commune d'Icoana.

Expériences sur les tomates (CE = 2,5 dS / m)

Des expériences sur les tomates ont été réalisées en cultivant semis des tomates sur un sol non pollué (V0), sur un sol pollué (V1) (CE moyenne = 2,82 dS / m) et sur un sol pollué avec un ajout de 50% de perlite (V2). Les productions de tomates par plante sur un sol non pollué étaient de 30,2% en 2016 et de 36,8% en 2017 sur un sol pollué, et de 92% et 94,4% respectivement pour le sol enrichi en perlite.

Les tomates sont les légumes les plus consommés, sous différentes formes, dans le monde entier. C'est pourquoi nous devons savoir comment la salinité influence la qualité des tomates. Dans ce contexte, nous avons analysé dans les fruits, les feuilles, les souches et les racines: substance sèche, chlorophylle, glucides, protéines, certains minéraux spécifiques aux sols salins (potassium, sodium, calcium, magnésium) et certaines enzymes importantes dans la réponse des plantes au stress (catalase, peroxydase et superoxyde dismutase).

La littérature spécialisée montre que les tomates salées sont de qualité supérieure du fait que certaines propriétés telles que la matière sèche et les hydrates de carbone donnent un meilleur goût aux fruits et jouent un rôle important pour le marché et le traitement. Mais l'augmentation de la concentration en glucides réducteurs entraîne une insuffisance en fibres et en amidon, ce qui détermine des défauts de texture, de résistance des fruits et la capacité de craquelage augmente.

Les données obtenues pour l'ensemble de la plante montrent une teneur plus élevée en matière sèche, en glucides et en protéines pour les plantes cultivées sur un sol pollué

Phytoremédiation des zones polluées par du pétrole

(matière sèche - maximum 46%; glucides - maximum 129%; protéines - maximum 53%), suivies des plantes cultivées sur un sol pollué avec de la perlite (matière sèche - maximum 32%, glucides - maximum 66%, protéines - maximum 24%), par rapport aux valeurs obtenues pour les plantes récoltées du sol non pollué. Les résultats obtenus montrent que l'exposition des plantes au stress salin commence par l'exposition des racines à ce stress et que toute la plante est affectée. Dans le cas des tomates, la réponse de la plante est adaptable pour produire des substances à activité osmotique, principalement des acides aminés et des sucres, qui aident à réduire la salinité causée par le stress osmotique.

Dans le cas de la chlorophylle totale, la réponse de la plante est différente. La concentration totale de chlorophylle est plus élevée chez les plantes récoltées dans un sol non pollué.

Les échantillons prélevés dans le sol pollué avaient une concentration en chlorophylle inférieure de 26,3% et, dans le cas d'échantillons prélevés dans le sol pollué plus de perlite, avec 19,3% de matières grasses provenant des concentrations obtenues pour les plantes récoltées dans un sol non pollué. La bioaccumulation des principaux minéraux du sol (Na, K, Ca, Mg) par les tomates montre le degré d'accumulation différente pour chaque tissu. Les données sur l'absorption ionique par total végétal pour les deux années 2016/2017, dans l'ordre V0, V1 et V2 sont les suivantes: Na-63,3 / 72,5 ppm, 628,8 / 542 ppm, 484,5 / 433, 3 ppm; K-237,5 / 185 ppm, 472,3 / 401 ppm, 434/353 ppm; Ca-194,5 / 148,3 ppm, 389,3 / 330,5 ppm, 280 / 234,8 ppm; Mg-258,8 / 183,5 ppm, 548,3 / 452,8 ppm, 455,5 / 342,5 ppm. Pour tous les éléments, on peut noter la nette différence entre la quantité de minéraux absorbés dans les graisses non polluées et les quantités absorbées dans les variantes de sol pollué. Dans les échantillons prélevés sur les tomates développées sur le sol pollué et pelées à la perlite, l'ion sodium est principalement constitué de graisse des autres ions.

Le stress abiotique, provoqué dans notre cas par une pollution par le pétrole brut suivi par une pollution par le sel, est responsable de la production d'espèces réactives à l'oxygène (ROS) (H_2O_2 , OH^* , RO^* , $ROOH$, etc.) toxiques pour tout organisme. Dans ce contexte et en fonction de la dotation, nous avons déterminé dans les tomates cultivées sur les trois types de solutions salines les activités: peroxydase, catalase et superoxyde dismutase. Les valeurs moyennes obtenues par plante au cours des deux années 2016/2017 dans l'ordre V0, V1 et V2 sont présentées comme suit : SOD, U/ mg prot. - 0,74/ 0,69, 1,93/ 1,84, 1,35/ 0,90; CAT, $\mu\text{mol } H_2O_2 / \text{min} / \text{mg prot} / \text{ml}$ - 280,43/ 241,49, 407,42/ 390,43, 336,13/ 274,85; POD, $\mu\text{molac. asc.} / \text{mg protéine} / \text{min}$ - 29,24/ 24,74, 39,52/ 29,70, 30,29/ 22,39. L'activité plus élevée de la catalase, la superoxyde dismutase et la peroxydase dans les échantillons prélevés dans les sols pollués ou pollués, ainsi que les graisses perlitiques provenant de celles récoltées dans des sols non pollués, est une réponse aux plantes lors de l'augmentation du niveau oxydatif dans les plantes, du stress dû à la présence de fortes concentrations en ions, sodium et calcium.

Expériences sur le terrain de méthodes de phytoremédiation

En 2014, sur les zones expérimentales, délimitées sur le sol pollué, elles ont été cultivées rapidement: tomates (CE = 2,5dS/ m), poivrons (CE = 1,5 dS/ m) et haricots verts (CE= 1,0 dS/ m). Du blé (*Triticumaestivum*) (CE = 6,0 dS/ m) a été cultivé sur la superficie restante d'environ 3,5 ha de terres polluées.

SCARLAT Virgil Gheorghiiă - Thèse de doctorat

Sur le bord du champ cultivé avec le grain, les arbustes d'écorce avec une tolérance relative maximale de CE = 8.0 dS/ m ont été cultivés pour l'essai. Toutefois, cette année, l'effort déposé a conduit à d'échec, d'une part, à l'effet cumulatif de la teneur en sel dans le sol (CE moyenne = 2,82 dS/ m), du pH de base (7,8), et par contre, l'effet des inondations répétées (5 marmites en juillet).

Ainsi, les tomates ont un aspect fané, les feuilles sont rares et petites, les tiges sont fines et sèches, et les fruits sont petits, peu et très peu au stade de maturation normal. La récolte de tomates sur les terres polluées a été 5 fois moins que sur les terres non polluées. Les poivrons avaient l'apparence de plantes normalement développées mais n'avaient ni fleurs ni fruits. La culture de haricots ressemble à un champ de mauvaises herbes parmi lequel certaines plantes sont également apparues, seulement des feuilles, la plus partie jaunes, pas de fruit. Bien que le chat ait une tolérance élevée au sel, les inondations survenues dans la région ont entraîné la destruction complète des arbustes.

Dans les conditions météorologiques susmentionnées, seul le blé a poussé à maturité. Cependant, la production de blé sur les terres polluées était "celle sur les terres non polluées de 56,25% seulement. En évaluant le bénéfice, il est de moins 780 ron par hectare pour les terres polluées. En conséquence, le profit sur la décharge 71 (11,45 ha) qui limite la zone polluée est pratiquement insignifiant, s'élevant à environ 31,4 lei par hectare.

À la suite des nombreuses inondations, un barrage a été construit sur la rivière Vedea. Ainsi, des expériences successives pourraient être réalisées en 2015, 2016 et 2017, dans des conditions de répétabilité.

Expériences sur le maïs (CE = 1,7 dS / m)

Le sol des parcelles délimitées à des fins expérimentales (parcelles de 0,3 ha) (trois répétitions) une post perlite homogénéisée 5 mm, 50%, de sorte que sur le terrain, nous avons les trois variantes de sol: sol non pollué (V0), sol pollué (V1) et sol pollué avec 50% de perlite (V2) ajouté. Contrairement aux expériences sur le terrain, les variables se produisent sur le terrain, notamment en raison de phénomènes météorologiques, tels que les précipitations et la tempéra, phénomènes à prendre en compte pour avoir une vue d'ensemble.

Bien que les rendements en grains de maïs aient considérablement augmenté chaque année, les bénéfices réalisés sur les sols pollués ont été négatifs. Cela était dû, d'une part, à une production peu polluante comparée à un sol non pollué (2015-14,3%, 2016-16,1%, 2017-17,7%) et, d'autre part, à une croissance significative des coûts de production et la diminution du prix de vente. Dans le même temps, les rendements sur la perlite de sol pollué par rapport à ceux sur un sol non pollué étaient les suivants: 2015-88,4%, 2016-89,5%, 2017-85,3%. Dans ces conditions, les bénéfices, bien que plus petits, ont été positifs par rapport à ceux obtenus sur un sol non pollué: 2015-71,0%, 2016-71,8%, 2017-64,3%.

Outre l'analyse économique, nous avons analysé certains aspects relatifs à la qualité biochimique des grains de maïs (matière sèche, concentration en protéines). La teneur moyenne en matière sèche et en protéines du maïs récolté sur les trois variantes de solution saline en 2015-2017 était de: V0 - matière sèche 87,3%, g prot/ 100 g matière sèche 8,03; V1- matière sèche 82,3%, g prot/ 100 g matière sèche 9,1; V2- matière sèche 85,3%, g prot/ 100 g matière sèche 8.4.

Les données obtenues montrent de petites différences entre les valeurs obtenues pour les grains de maïs récoltés dans un sol pollué non pollué et dans le sol additionné de perlite. Cependant, par rapport à la substance sèche, la concentration en protéines est plus élevée dans le maïs cultivé dans un sol pollué.

Valeurs moyennes sur les trois années de concentrations en sodium, potassium, calcium et magnésium des grains de maïs récoltés dans les trois types de sol sont les suivantes: Na - V0 -

75 ppm, V1-118 ppm, V2-93 ppm; K-V0-82 ppm, V1-98 ppm, V2-89 ppm; Ca-V037,7 ppm, V1-175,7 ppm, V2-119 ppm; Mg-V0-130,3 ppm, V1-110 ppm, V2-119,7 ppm. Comme on peut le constater d'après les données, l'absorption la plus importante d'ions concerne les plantes cultivées sur un sol pollué, suivie de celle des plantes cultivées sur le sol avec des ajouts de perlite. Bien que les valeurs obtenues soient beaucoup moins communes que celles communément considérées comme nutritionnelles, les plages de concentration de ces ions sont extrêmement larges, de sorte que les concentrations obtenues n'influencent pas trop la valeur nutritionnelle du maïs, mais aident à remédier à la zone polluée.

L'effet du processus de phytoremédiation sur les sols pollués.

Entre 2015 et 2017, nous avons observé l'effet de la culture de maïs sur les sols pollués et enrichis en perlite sur les concentrations de Na, K, Ca et Mg. Des concentrations en ions polluants (sodium, potassium, calcium, magnésium) dans les sols non pollués, pollués et pollués à cause de l'ajout de perlite pour une évaluation comparative équitable, ont été rapportées avec la matière sèche des variantes de sol respectives. La détermination des concentrations en ions a été effectuée avant et après la culture. Ainsi, la diminution des concentrations en ions était la suivante: Na - 2015: sol pollué de 336 ppm à 313 ppm, sol pollué plus perlite de 351 ppm à 265 ppm, 2016: sol pollué de 318 ppm à 296 ppm, sol pollué plus perlite de 258 ppm à 187 ppm; 2017: sol pollué de 290 ppm à 269 ppm, sol pollué plus perlite de 182 ppm à 147 ppm; K - 2015: sol pollué de 171 ppm à 158 ppm, sol pollué plus perlite de 174 ppm à 137 ppm, 2016: sol pollué de 253 ppm à 225 ppm, sol pollué plus perlite de 223 ppm à 181 ppm, 2017: sol pollué de 215 ppm à 192 ppm, sol pollué plus perlite de 181 ppm à 145 ppm; Ca - 2015: sol pollué de 534 ppm à 510 ppm, sol pollué plus perlite de 511 ppm à 459 ppm, 2016: sol pollué de 506 ppm à 468 ppm, sol pollué plus perlite de 453 ppm à 379 ppm, 2017: sol pollué de 464 ppm à 423 ppm, sol pollué plus perlite de 370 ppm à 321 ppm; Mg - 2015: sol pollué de 195 ppm à 179 ppm, sol pollué plus perlite de 235 ppm à 211 ppm; 2016: sol pollué de 180 ppm à 161 ppm, sol pollué plus perlite de 182 ppm à 150 ppm, 2017: sol pollué de 165 ppm à 153 ppm, sol pollué plus perlite de 154 ppm à 125 ppm. Les données montrent que, grâce au processus de phytoremédiation, il y a eu clairement, successivement, une diminution des concentrations de polluants dans le sol.

Également la capacité d'absorber les ions des sols pollués plus perlite par comparaison à des sols pollués étaient 2,7 à 4,0 plus élevés pour l'ion Na, entre 1,5 et 2,3 plus élevés pour l'ion Ca et 1,2 à 2,6 plus grand pour l'ion Mg.

La seule exception est la présence d'ions potassium, pour lesquels l'évolution des concentrations n'a pu être retracée uniquement dépendant de la culture et de l'ajout de perlite dans le sol, car pendant les trois années, le sol a été fertilisé avec des engrais NPK.

À partir de ces données, l'influence de l'addition de perlite est évidente.

L'effet des processus de phytoremédiation que nous avons expérimentés sur les valeurs du pH et de la CE en montre une approximation progressive des valeurs normales pour les surfaces agricoles. Ainsi, la valeur du pH pour le sol pollué a diminué de 7,88 à 6,74 et de 7,75 à 6,42 pour le sol en ajout de perlite.

En outre, les valeurs de conductivité électrique (CE) pour le sol pollué ont diminué de 3,84 à 3,38 et de 3,67 à 2,63 pour le sol en ajout de perlite. En utilisant la perlite, on obtient une amélioration de la teneur

totale en sel du sol, l'uniformité des plantes dans les cultures de maïs en plein champ, une structure du sol renforcée, un meilleur développement du sol et un drainage approprié de l'eau.

CONCLUSIONS GENERALES

Vu l'expérience de l'évaluation du degré de pollution par le pétrole suivie par la pollution du sel dans une zone agricole du village d'Icoana/ la Commune d'Icoana, ainsi que la capacité de certains microorganismes / plantes à absorber les polluants, seuls ou aidés par l'amélioration de la qualité du sol par l'ajout de perlite, les conclusions générales suivantes peuvent être présentées :

- ❖ Pour l'extraction de produits pétroliers, pour la détermination de leurs concentrations dans le sol on recommande à établir le meilleur solvant pour le sol respectif.

- ❖ Dix souches de microorganismes ont été isolées, purifiées et identifiées à partir du sol pollué. Trois de ces complexes (An, Ao6, Ao7) ont montré leurs hautes capacités de consommation de produits pétroliers. En raison de l'activité microbienne au bout d'environ 7 mois de pollution, il n'y avait que 0,51 et 2,26 g / kg d'asphaltènes dans le sol.

- ❖ L'application d'engrais améliore le processus de bioremédiation.

- ❖ Les sols pollués avec de fortes concentrations de sel ont montré des valeurs de conductivité électrique élevées (moyenne de 3,9 dS / m) en 2015.

- ❖ La laitue à faible tolérance relative (CE = 1,3 dS/ m) n'a pas pu se développer correctement. Les pommes de terre (CE = 1,7 dS/ m), sur un sol présentant des concentrations de 50% et 75% de perlite dans le sol, se sont développées de manière similaire à celles cultivées sur un sol non pollué. La teneur en Na de la laitue et des pommes de terre était élevée dans les cultures des sols pollués par comparaison à des cultures des sols non pollués.

- ❖ La production de tomates s'est établie en moyenne à 33,5% dans les sols pollués et à 93,1% dans les sols pollués plus la perlite par rapport aux sols non pollués.

- ❖ Les concentrations de substance sèche, de protéines, de glucides, de Na, de K, de Ca, de Mg et des activités enzymatiques de la catalase, de la superoxyde dismutase et de la peroxydase, par rapport à la plante entière, sont plus élevées pour les plantes cultivées sur un sol pollué, suivies des tomates cultivées sur sol pollué plus perlite par rapport aux valeurs obtenues sur sol non pollué.

- ❖ La concentration totale de chlorophylle dans les plantes diminue dans l'ordre des cultures sur un sol non pollué> sol pollué plus perlite> sol pollué.

Phytoremédiation des zones polluées par du pétrole

- ❖ La production moyenne de maïs au cours des trois années sur les terres polluées est d'environ 16% et 87,7% sur les sols pollués plus la perlite par comparaison aux sols non pollués.

- ❖ Les concentrations d'ions sont plus prononcées dans les grains de maïs récoltés sur des sols pollués que d'autres variantes. Lors des tests culinaires, les produits (polenta) obtenus avec les trois catégories de maïs n'ont pratiquement pas été distingués par les consommateurs, qui se sont avérés très bons.

- ❖ Les concentrations d'ions polluants dans le sol, ainsi que les valeurs du pH et de la CE ont considérablement diminué dans le sol.

- ❖ La présence de la perlite permet que le drainage des eaux dans le sol soit beaucoup plus efficace et reconstruit la structure du sol permettant un bon développement des racines.

- ❖ La perlite n'a pas été utilisée actuellement pour l'amélioration du sol pollué. Grâce aux résultats obtenus, nous considérons que pendant le temps le sol pollué auquel la perlite est ajoutée sera remédié dans un délai inférieur à celui de 10 ou 13 ans présenté dans la littérature de spécialité.