Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Département fédéral de la défense,
de la protection de la population et des sports DDPS

Secrétariat général du DDPS
Espace et environnement DDPS

Guide pratique

Evaluation de la menace

Evaluation de la menace sur les places de tir de l'armée avec herbages

Concrétisation du manuel "Sols pollués. Evaluation de la menace et mesures de protection"

Version 1.0, 26.10.2016

Evaluation de la menace sur les places de tir de l'armée avec herbages

Concrétisation du manuel "Sols pollués. Evaluation de la menace et mesures de protection"

Guide pratique

Illustration de la page de couverture: place de tir de Schwellbrunn
Source : Christine Rupflin

Mandant
armasuisse Immobilier

Auteurs
Christine Rupflin, Université des Sciences Appliquées de Zurich, Wädenswil
Rolf Krebs, Université des Sciences Appliquées de Zurich, Wädenswil

Groupe de projet technique
Rolf Keiser, armasuisse Immobilier, Berne
Markus Jauslin, armasuisse Immobilier, Berne
David Külling, armasuisse Immobilier, Berne
Peter Studer, Centre de dommages du DDPS, Berne

Groupe d'accompagnement technique
Ivo Lehmann, AfU Schwyz
Thomas Muntwyler, FaBo Argovie
Thomas Lepke, OFEV
Reto Philipp, magma AG
Rolf Gsponer, FaBo Zurich
Markus Rüttimann, SG DDPS
Claus Walcher, SG DDPS

Copyright © 2016

Matière traitée

1 Contexte 4

2 Domaine d'application et classification 4

3 Evaluation de la menace – procédure générale 8

4 Evaluation de la menace dans les pâtures 10

4.1 Analyse de la menace 10
4.1.1 Site 10
4.1.2 Utilisation 10
4.2 Evaluation de la menace – niveau 1 11
4.3 Evaluation de la menace – niveau 2 13
4.3.1 Evaluation 14
4.4 Mesures 16
4.4.1 Niveau 1 16
4.4.2 Niveau 2 16
4.5 Evaluation de la menace au moyen de deux cas 17
4.5.1 Cas 1 17
4.5.2 Cas 2 18

5 Evaluation de la menace lors de fauche 22

5.1 Analyse de la menace 22
5.2 Evaluation de la menace 22
5.3 Mesures 24
Annexe A Explications concernant la classification du présent guide 27
Annexe B Bases de calcul générales du présent guide 28
Annexe C Bases de calcul - pâture 33
Annexe D Bases de calcul - fauche 39
Annexe E Appréciation critique des résultats 41

1 Contexte

Le présent guide est une recommandation de mesures pour évaluer la menace que constituent les places de tir de l'armée qui sont exploitées comme herbages.

Il doit être considéré comme complément et concrétisation du manuel de l'OFEV paru en 2005 sous le titre "Sols pollués. Evaluation de la menace et mesures de protection" (Mailänder & Hämmann, 2005). Ce manuel indique aux autorités chargées de l'exécution un processus harmonisé pour l'analyse et l'évaluation de la menace des sols pollués dans le domaine contrôlé et fournit la base nécessaire pour l'exécution de l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol; RS 814.12). En règle générale, les systèmes experts qui y sont contenus sont bien adaptés pour obtenir rapidement la vue d'ensemble de la situation de danger et pour déterminer les mesures d'évaluation de la menace. Cela vaut également pour les installations de tir (300 m) civiles.

Dans le cas spécial des places de tir de l'armée avec herbages, les autorités chargées de l'exécution sont toutefois confrontées à des paramètres particuliers, pour lesquels il était nécessaire de concrétiser le manuel existant. A cet effet, le présent guide a été élaboré; il procède à une appréciation réaliste de la menace dans le domaine contrôlé et concrétise les dispositions du manuel pour qu'elles soient appliquées à des places de tir de l'armée. La base de la méthode développée est constituée de l'évaluation de la menace selon le manuel et des acceptations concrètes des systèmes experts simplifiés existants.

2 Domaine d'application et classification

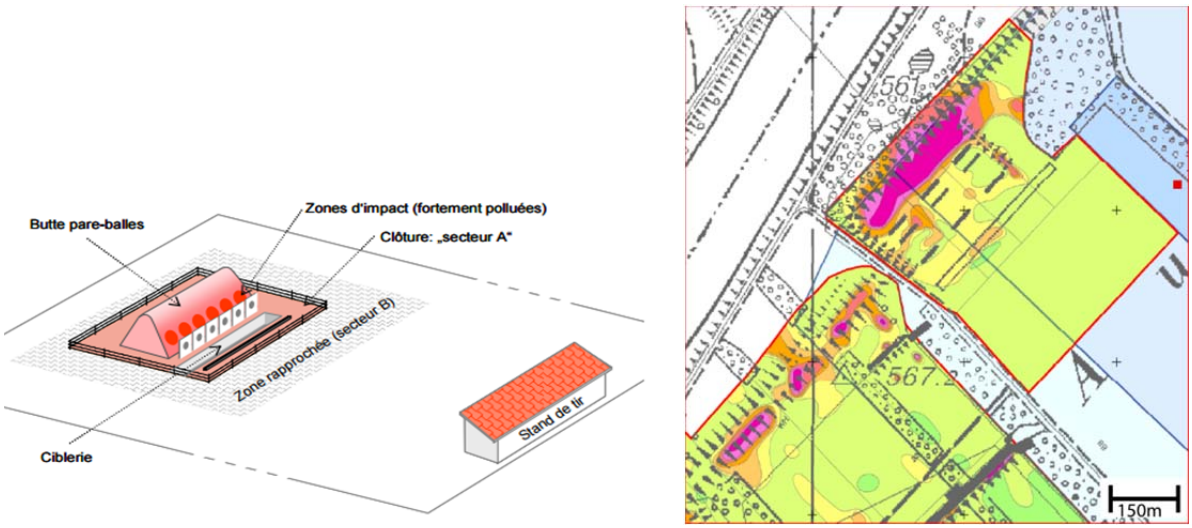
En quoi se différencie la situation de menace des installations de tir civiles de celle des places de tir de l'armée?

Durée de l'utilisation

Contrairement à la plupart des installations de tir, près de 90% des places de tir de l'armée se situent à plus de 600 m d'altitude. Une grande partie des pâturages situées sur les places de tir militaires n'est utilisée que lors de l'estivage. Avec l'augmentation de l'altitude, la durée de la période de végétation se raccourcit jusqu'à une semaine par 100 m de dénivellation supplémentaire. Les récoltes d'herbages, qui diminuent avec l'altitude, ont par conséquent une période d'utilisation plus courte. Les animaux qui paissent sont ainsi exposés au risque provenant de la pâture, en raison des sols pollués, pendant une période nettement plus courte.
Dans le chapitre 8.1.2 du manuel de l'OFEV (Mailänder & Hämmann, 2005), les paramètres pouvant réduire l'ampleur du risque sont présentés de manière explicite. La pollution des biens dignes de protection sur une durée courte est notamment décrite: "Les valeurs réglementaires de l’annexe 1 de l'OSol sont interprétées pour des pollutions de longue durée. La menace peut donc être réduite lorsque la pollution de la récolte n’apparaît que sur des périodes relativement courtes. Ce peut être le cas p. ex. des alpages qui ne sont utilisés que pendant une courte période dans l’année."

Proportion de surfaces polluées par rapport à la totalité des surfaces du sol utilisé

Le manuel de l'OFEV (Mailänder & Hämmann, 2005) constate au chapitre 8.1.2 que la menace peut être réduite "lorsque la proportion de surfaces polluées par rapport à la totalité des surfaces de même utilisation – normalement toute la parcelle – est faible (valeur de référence: <20%). On peut réduire la menace p. ex. dans les cultures fourragères si les fourrages venant de la surface polluée ne représentent qu'une petite partie de la totalité des fourrages absorbés par les animaux de rente."
Dans le cas des installations de tir civiles, une pollution relativement élevée qui se concentre sur un petit espace délimité (Ill. 1) est supposée.
Par contre, sur les places de tir de l'armée, l'apport de polluants est diffus. On trouve des pics de pollution locaux derrière les cibles permanentes. Il s'ensuit une concentration de polluants avec de fortes fluctuations sur de petites surfaces, comme une mosaïque.
Les surfaces agricoles d'exploitation et quelques surfaces de pâturages s'étendent sur de grandes superficies en haute altitude et occupent généralement plusieurs hectares. Dans la zone des buts et en particulier dans la surface d'exploitation agricole, de grandes superficies ne sont que faiblement polluées, voire même pas polluées du tout (Ill. 2), ce qui réduit ainsi la pollution de la pâture.



Ill. 1 Schéma d'une installation de tir à 300 m civile (à gauche, Kettler & Schenk, (2007)) et extrait d'une carte de contamination type pour le plomb (à droite, tiré d'un compte rendu d'investigations techniques, DDPS).

Ill. 2 A gauche: pâturages sur une place de tir de l'armée. A droite: répartition type de la pollution par le plomb sur une place de tir de l'armée (extrait d'un compte rendu d'investigations techniques, DDPS).

Pour quels types de places de tir le présent guide est-il applicable?

La procédure décrite dans le présent guide sert en première ligne à effectuer l'évaluation de la menace sur les **places de tir de l'armée désaffectées,** qui doivent éventuellement être assainies.
Le présent guide contient des indications de nature générale concernant la façon de traiter les surfaces polluées des places de tir militaires, quelles mesures doivent être prises et quel objectif d'assainissement doit être visé. En cas de doute, si le site présente des spécificités et s'il existe de grandes incertitudes, le cas particulier doit être évalué de façon détaillée.
Pour des **places de tir encore en fonction**, le présent guide est en principe également applicable**.** En cas d'utilisation militaire intensive, des restrictions d'utilisation pour l'agriculture existent déjà et le présent guide n'est applicable. En effet, une évaluation au cas par cas par un spécialiste est nécessaire.

Pour quels types de zones de buts (cibles) le présent guide n'est-il pas applicable?

La méthode ne doit pas être appliquée sur les *installations* de tir. Pour les installations de tir, comme les installations de tir à 300 m, les installations de tir à courte distance, etc., la procédure selon le système expert existant du manuel est valable.

Pour quelles utilisations agricoles le présent guide est-il applicable?

Le présent guide précise les voies de contamination **des cultures fourragères** du manuel et prend en considération, au sein de celui-ci, **l'utilisation des herbages** des places de tir de l'armée. Le présent guide tient compte des différences entre divers types d'utilisation comme

- fourrage de pâturage
- fourrage de prairie (herbe de fauche fraîche, ensilage).

Il ne contient aucune indication au sujet des voies de contamination des cultures alimentaires ou des utilisations avec risque ingestion directe par voie orale de sol.
L'estimation approximative du potentiel de danger au niveau 1 prend en considération une utilisation agricole avec *tous les types d'animaux de rente* (moutons, bovins, chevaux, chèvres, etc.). Le mouton a, en tant qu'animal de rente le plus sensible, été choisi comme "animal indicateur" représentatif pour l'élaboration de scénarios réalistes.
Lors de l'application du niveau 2, l'estimation est différente s'il s'agit d'une exploitation de moutons ou de bovins. Si aucune connaissance précise n'est disponible, les autres types d'animaux de rente comme les chevaux, les chèvres, les alpagas, etc. sont classés dans la catégorie "mouton".
D'autres cas isolés spéciaux concernant l'utilisation agricole doivent être évalués selon le manuel Evaluation de la menace de l'OFEV.

Quelles surfaces sont évaluées avec le présent guide?

Les surfaces évaluées sont, d'une part, les surfaces utilisées se situant actuellement dans le domaine contrôlé entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement et, d'autre part, les éventuelles surfaces nécessitant un assainissement pour lesquelles une certaine valeur cible d'assainissement doit être atteinte.

Pour quels métaux lourds l'évaluation de la menace peut-elle être effectuée?

L'évaluation de la menace décrite dans le présent guide peut être effectuée sur la base des teneurs totales de plomb et de cuivre dans le sol. Les pollutions par l'antimoine sont d'un ordre de grandeur inférieur à celles au plomb et sont couvertes par une évaluation de la menace avec le plomb comme élément principal. De plus, il manque des valeurs limites concrètes pour l'antimoine.

Tab. 1 Domaine contrôlé pour l'utilisation du sol "cultures fourragères" selon les seuils d'investigation et les valeurs d'assainissement tirés de l'Ordonnance sur les atteintes portées aux sols (OSol; RS 814.12).

	Plomb	**Cuivre**
Seuil d'investigation (Cultures fourragères)	200 ppm	150 ppm
Valeur d'assainissement (Agriculture et horticulture)	2000 ppm	1000 ppm

Que faut-il prendre en compte concernant l'utilisation agricole?

Gestion des pâturages et herbages

- Pas de densité trop importante d'animaux sur le pâturage
- Suffisamment de couche herbeuse disponible
- Pâture et fauche uniquement par conditions sèches

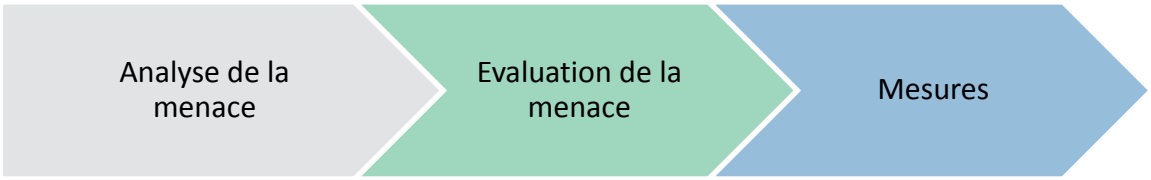
Surfaces d'utilisation

- Inscriptions dans les contrats d'exploitation et les plans d'affectation à l'attention du fermier respectivement du gestionnaire
    - Bonne documentation des surfaces d'utilisation respectivement des pâturages définis
    - Bonne documentation du type d'utilisation
      → Utilisation comme pâturage ovin, bovin ou comme prairie de fauche
- Les réductions des tailles de parcelles et des surfaces de pâturage au-delà d'une part mineure doivent impérativement être mentionnées dans une nouvelle appréciation de la menace.
- Des modifications du genre d'utilisation (p. ex. pâturage de moutons à pâturage de bovins, prairie de fauche à pâturage) ont également pour conséquence une nouvelle appréciation de la menace.

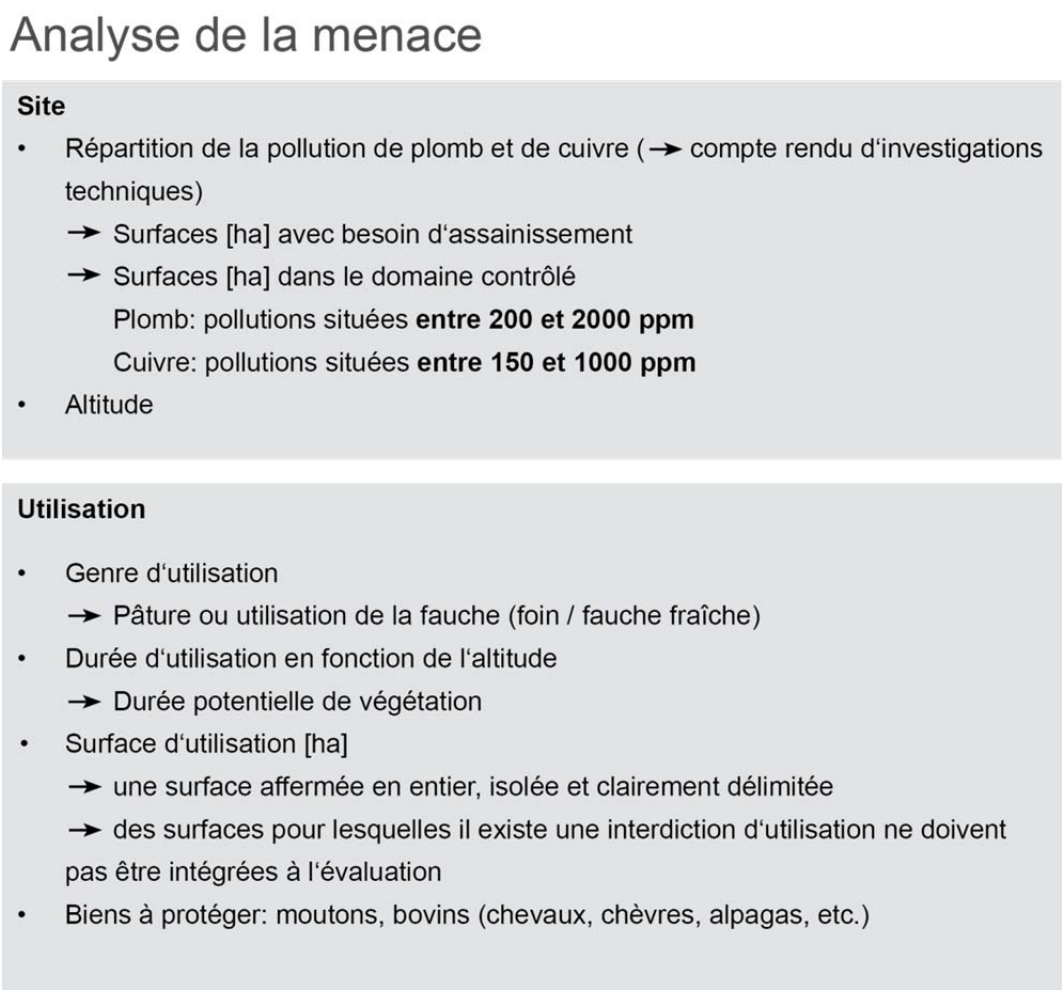
Des explications complémentaires concernant la classification du présent guide et l'élaboration des bases figurent dans l'annexe A.

3 Evaluation de la menace – procédure générale

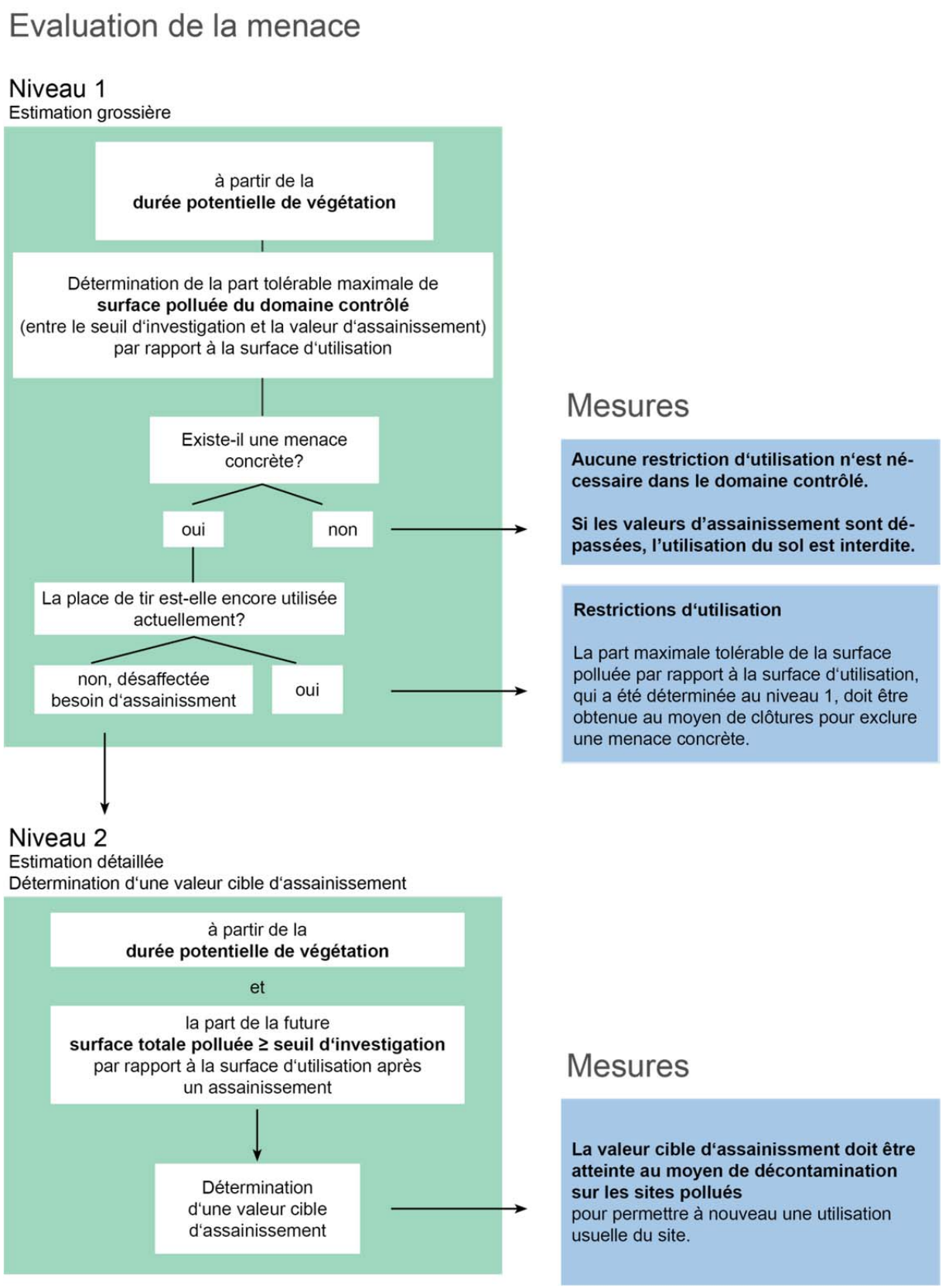
L'évaluation de la menace est effectuée de manière similaire à celle du manuel, selon le schéma suivant:



Ill. 3 Schéma général du déroulement de l'évaluation de la menace.



Ill. 4 Analyse de la menace.



Ill. 5 Evaluation de la menace (niveaux 1 et 2) et mesures.

4 Evaluation de la menace dans les pâturages

4.1 Analyse de la menace

4.1.1 Site

Répartition de la pollution

La base pour la détermination des contaminations par les métaux lourds est le compte rendu d'investigations techniques, qui indique la répartition interprétée de la pollution des surfaces suivantes:

- Des surfaces avec besoin d'assainissement (Pb > 2000 ppm, Cu > 1000 ppm), pour lesquelles il existe une interdiction d'utilisation
- Des surfaces dans le domaine contrôlé, pour lesquelles les utilisations usuelles pour le site doivent être vérifiées (200 ppm < Pb < 2000 ppm; 150 ppm < Cu < 1000 ppm)
- Des surfaces ne nécessitant pas de prendre des mesures, dont les contaminations par les métaux lourds se situent en-dessous du seuil d'investigation (Pb < 200 ppm; Cu < 150 ppm)

L'ensemble des données SIG concernant les interprétations de la contamination contiennent des informations au sujet de la taille des surfaces des différentes catégories de contaminations.

Altitude

L'altitude du site à évaluer sert d'ordre de grandeur pour estimer la durée potentielle de végétation.

4.1.2 Utilisation

Genre d'utilisation

Pour la surface d'utilisation à vérifier, l'utilisation usuelle du site, généralement déterminée dans les contrats d'exploitation ou déterminée pour le futur, doit être connue.

Durée d'utilisation

Comme ordre de grandeur pour la durée d'utilisation, il est tenu compte de la durée de végétation. Selon l'altitude, la durée potentielle de végétation en jours est déterminée sur la base du Tab. 2. Elle repose sur les "Niveaux thermiques de la Suisse" de Schreiber, K.F. et al. (1977) et indique une valeur moyenne pour les étages altitudinaux situés entre 600 et 2400 m d'altitude. Si, pour un site, des indications plus précises concernant la durée de végétation sont désirées, les "niveaux thermiques de la Suisse" peuvent être directement utilisés. Dans la mesure où elle est connue et constante sur plusieurs années, la durée d'utilisation peut aussi être utilisée directement, en lieu et place de la durée de végétation.

Tab. 2 Durées potentielles de végétation avec l'augmentation de l'altitude (* dérivées de Schreiber, K.F. et al (1977)).

Altitude [m]	Durée potentielle de végétation [jours] *
600 – 800	210
800 – 1000	190
1000 – 1200	170
1200 – 1400	150
1400 – 1600	130
1600 – 1800	115
1800 – 2000	100
2000 – 2200	85

Surface d'utilisation

Dans le contexte des sols contaminés par des métaux lourds, la *dimension* et la *délimitation* des surfaces d'utilisation constituent les paramètres décisifs. Comme surface d'utilisation, une surface d'exploitation entièrement et clairement délimitée est prise en considération. Il peut s'agir de la totalité d'une surface affermée, dans la mesure où elle n'est pas subdivisée, ou d'une pâture constituée d'une seule surface. Généralement, la plus petite unité pouvant être délimitée, soit par des clôtures de pâturages ou d'autres spécificités du site (topographie, barrières, etc.), est prise en considération.

Pour l'évaluation de la menace du **niveau 1**, il faut prendre en considération ce qui suit:
Les surfaces qui sont exclues de l'utilisation ne font pas partie de la surface d'exploitation et doivent être retirées de cette dernière. Ce sont principalement toutes les surfaces qui présentent des pollutions supérieures à la valeur d'assainissement et où une utilisation agricole au sens de l'OSol est par conséquent exclue. En raison de ce contexte, la part de la surface polluée dans le domaine contrôlé est calculée par rapport à la surface d'utilisation (pour des détails, voir les cas au chap. 4.5).

4.2 Evaluation de la menace – niveau 1

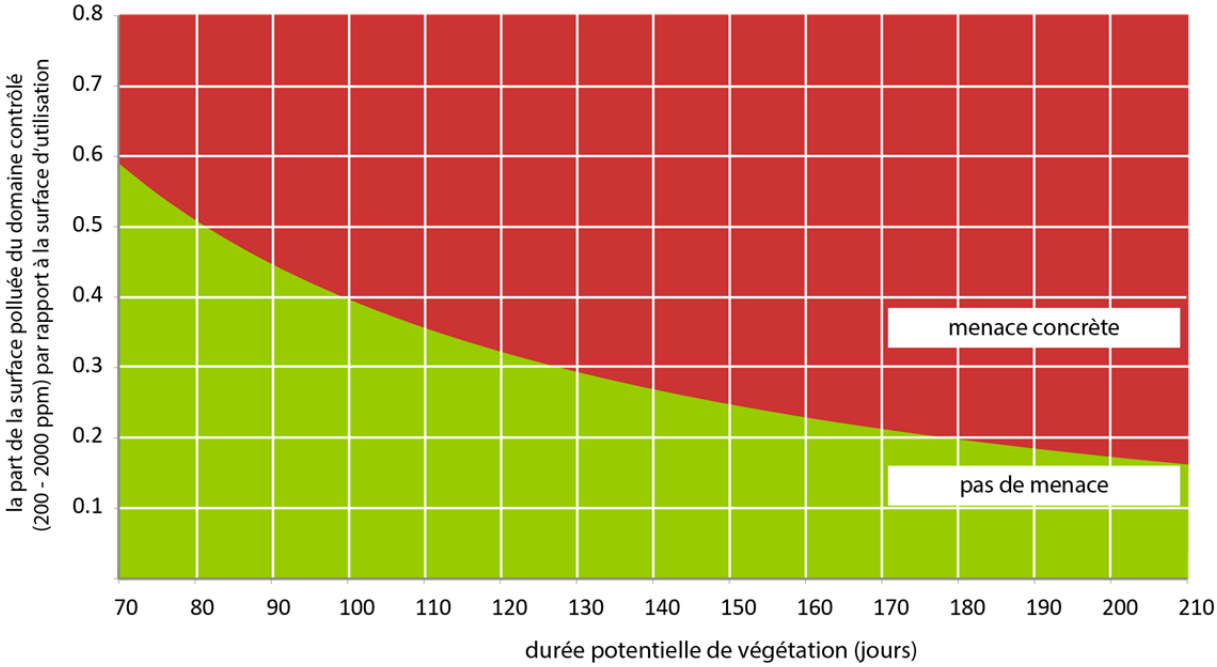
L'évaluation de la menace est effectuée à un premier niveau, puis éventuellement à un deuxième niveau (voir l'Ill. 5).

Au niveau 1, une première estimation approximative du potentiel de menace a lieu. Celle-ci se fonde sur des hypothèses plus prudentes afin de garantir qu'une menace concrète pourra vraisemblablement être exclue. Ainsi, le mouton a été choisi comme représentant des biens dignes de protection et "animal indicateur", avec un facteur d'ingestion maximale par consommation directe[1] (30% des particules du sol par rapport à la consommation totale, selon Hämmann & Gupta (1997)). Les autres types d'animaux de rente comme les bovins, les chevaux, les alpagas, etc. ne sont pas pris en considération de manière plus détaillée au niveau 1.
Comme critère d'évaluation pour estimer la teneur maximale en plomb ou en cuivre dans les aliments pour animaux, les valeurs maximales pour les fourrages selon l'Ordonnance sur les aliments pour animaux (OSALA; RS 916.307 et OLALA; RS 916.307.1) sont intégrées dans l'évaluation de la menace.

Pour la durée d'utilisation, si aucune indication plus précise n'est connue, la durée potentielle de végétation du site selon le Tab. 2 est utilisée.
A partir de la durée potentielle de végétation, on détermine la part tolérable maximale de surface polluée du domaine contrôlé par rapport à la surface d'utilisation, pour laquelle toute menace concrète peut encore être exclue. Ces valeurs sont tirées des illustrations 6 et 7 pour les métaux lourds plomb et cuivre.
Cette part est comparée avec les rapports effectifs de l'utilisation usuelle du site et de la pollution par des métaux lourds sur la surface d'exploitation et il est évalué si une menace concrète existe ou non. S'il y a simultanément des pollutions au plomb et au cuivre, l'évaluation avec une menace élevée est appliquée.
Pour plus de détails concernant les bases de calcul, voir les annexes B et C.

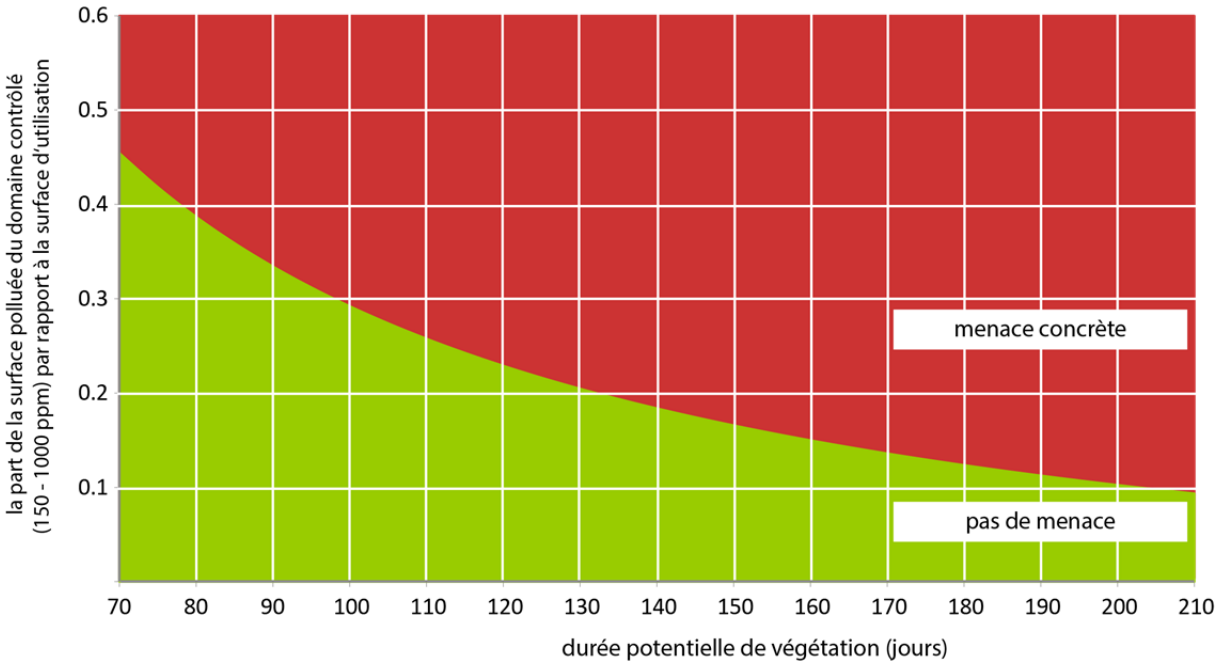
[1] Sol ingéré par voie orale (vo) par les animaux de rente par consommation directe, c'est-à-dire directement pendant la pâture. Le facteur est indiqué en % de la consommation (MS). L'ingestion de particules du sol a lieu principalement en broutant la couche herbeuse très bas. Par rapport aux bovins, les moutons ingèrent nettement plus de sol, car ils broutent souvent la couche herbeuse juste au-dessus de la surface du sol.

Evaluation de la menace, niveau 1 – plomb



Ill. 6 Evaluation de la menace, niveau 1 pour le plomb – valable pour toutes les sortes d'animaux de rente. A partir de la durée potentielle de végétation, la part tolérable maximale de la surface polluée du domaine contrôlé est déterminée, c'est-à-dire la part qui exclut encore une menace concrète.

Evaluation de la menace, niveau 1 – cuivre



Ill. 7 Evaluation de la menace, niveau 1 pour le cuivre – valable pour toutes les sortes d'animaux de rente. A partir de la durée potentielle de végétation, la part tolérable maximale de la surface polluée du domaine contrôlé est déterminée, c'est-à-dire la part qui exclut encore une menace concrète.

4.3 Evaluation de la menace – niveau 2

Si la première évaluation approximative de la menace au niveau 1 indique une menace concrète, la surface polluée à l'intérieur de la surface d'utilisation ne peut plus être utilisée comme pâturage sans autres mesures. Lors d'une désaffectation d'une place de tir de l'armée, il est par conséquent également nécessaire d'assainir une partie du périmètre de contrôle pollué. L'objectif est de décontaminer cette partie de manière à ce qu'une utilisation usuelle de la surface d'exploitation soit à nouveau possible sans menace concrète. Au niveau 2, une estimation détaillée du potentiel de la menace est effectuée et une valeur cible d'assainissement correspondante est déterminée (voir aussi l'Ill. 5).
Il s'agit de s'assurer, au niveau 2, de prendre en considération la surface totale d'exploitation comme surface d'utilisation – y compris les surfaces indiquant des pollutions supérieures à la valeur d'assainissement. Après un assainissement, ces surfaces doivent aussi, dans la mesure du possible, à nouveau faire partie de la surface d'utilisation. Elles doivent, par conséquent, être intégrées à l'évaluation de la menace (pour les détails, voir les cas).

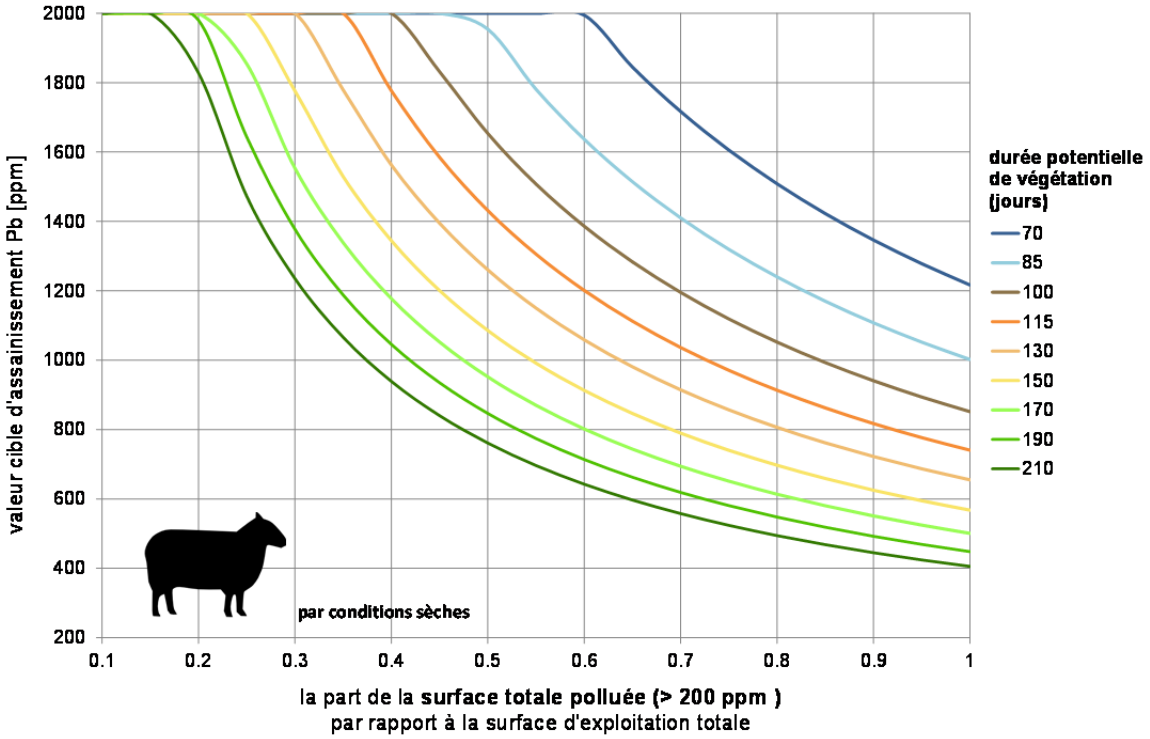
La durée potentielle de végétation est utilisée comme durée d'utilisation au niveau 1.
A partir de la part de la future surface totale polluée, la valeur cible d'assainissement est déterminée pour la durée potentielle de végétation correspondant au site (Ill. 8, Ill. 9).
De plus, au niveau 2, on différencie les pâtures destinées aux moutons de celles destinées aux bovins. Les facteurs d'ingestion de ces deux catégories d'animaux se distinguent nettement l'un de l'autre.
Si aucune connaissance précise n'est disponible, les autres types d'animaux de rente comme les chevaux, les chèvres, les alpagas, etc. sont classés dans la catégorie "mouton".
[Remarque: comme base pour le calcul de la valeur cible d'assainissement au niveau 2 (Ill. 8, Ill. 9), un facteur d'ingestion de 15% pour les moutons et un facteur de 5% pour les bovins a été adopté pour la consommation directe. Ces facteurs ont été déduits du manuel et correspondent aux valeurs du haut de la fourchette pour les facteurs d'ingestion lors de conditions sèches. Avant de calculer la valeur cible d'assainissement, il est conseillé d'adapter les facteurs d'ingestion conformément au manuel dès lors qu'il est prouvé que les conditions sont toujours humides à mouillées (p. ex. sites humides cartographiés) ou très sèches (p. ex. surfaces inventoriées comme prairies et pâturages secs PPS). De plus, dans le cas du cuivre, la teneur maximale en cuivre admissible dans le fourrage vert des moutons (max. 17 mg Cu/kg MS) se différencie de celle du fourrage vert des bovins (max. 40 mg Cu/kg MS)] [MS = matière sèche].

S'il y a simultanément des pollutions au plomb et au cuivre, l'évaluation avec une menace élevée est appliquée.

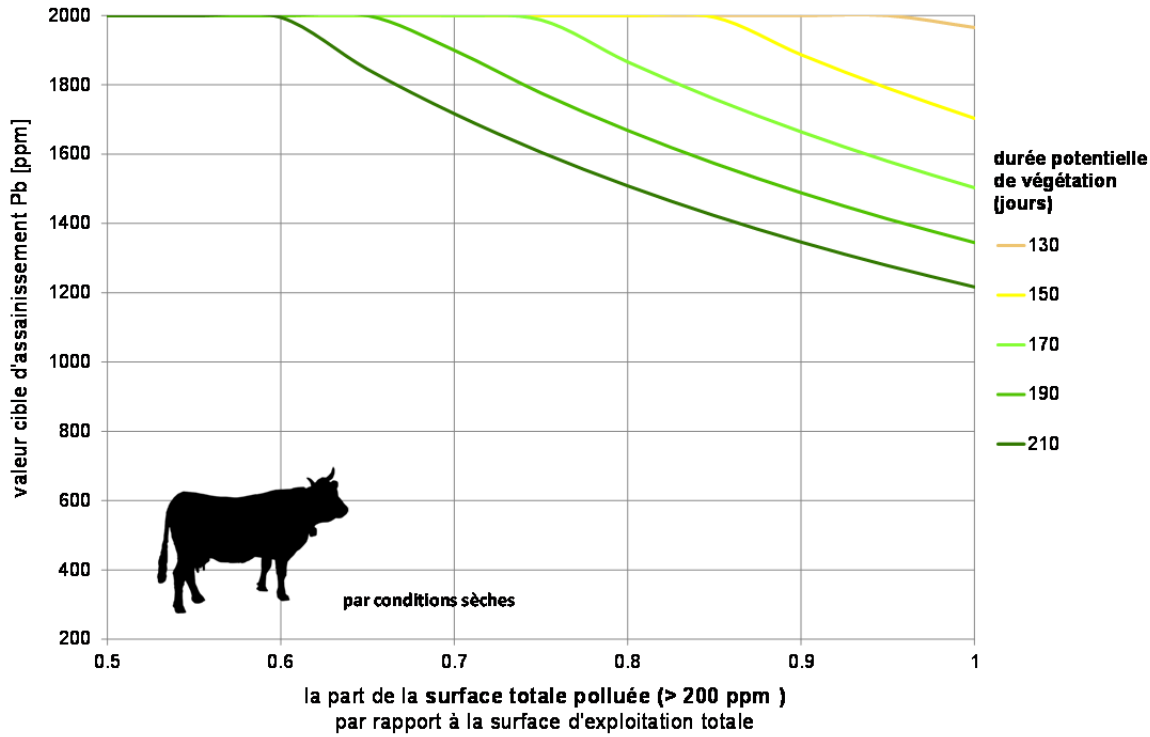
Pour plus de détails concernant les bases de calcul, voir les annexes B et C.

4.3.1 Evaluation

Evaluation de la menace, niveau 2 – plomb

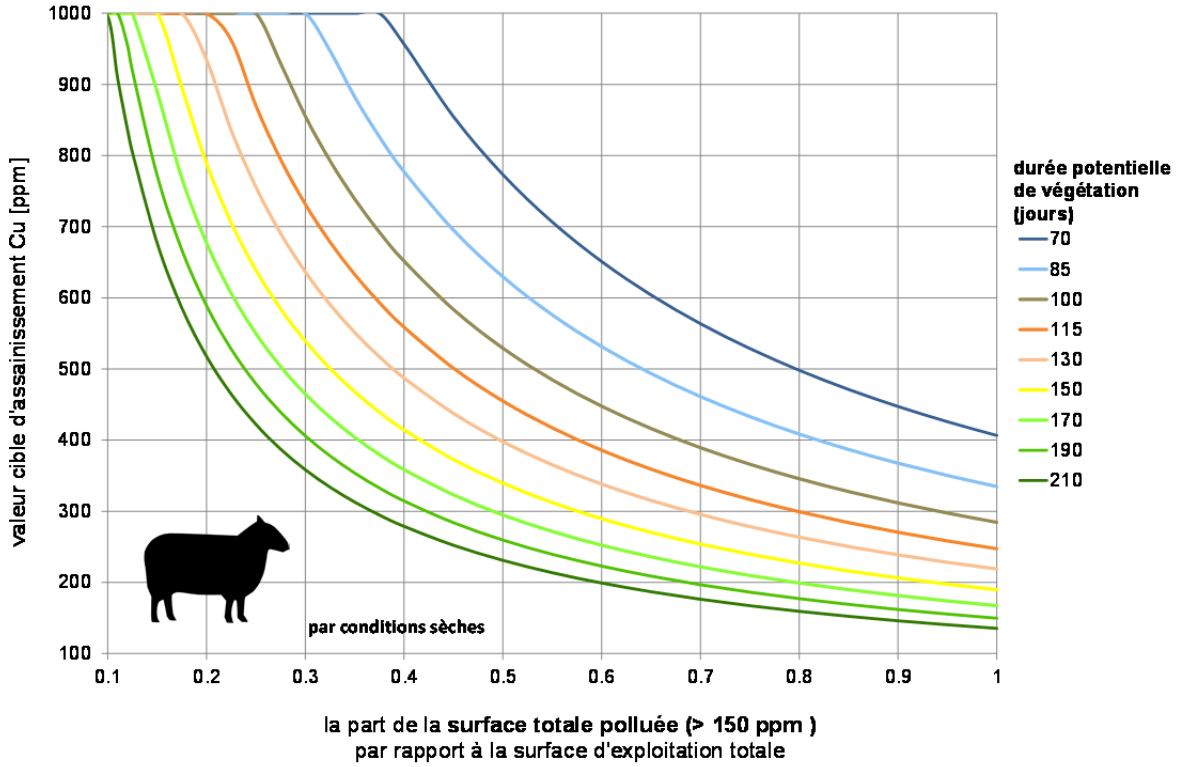


Ill. 8 Evaluation de la menace, niveau 2 pour le plomb – valable pour les moutons (et éventuellement d'autres animaux de pâture à l'exception des bovins). A partir de la part de l'ensemble de la surface polluée (> 200 ppm), la valeur cible d'assainissement du plomb est déterminée pour la durée potentielle de végétation correspondant au site.

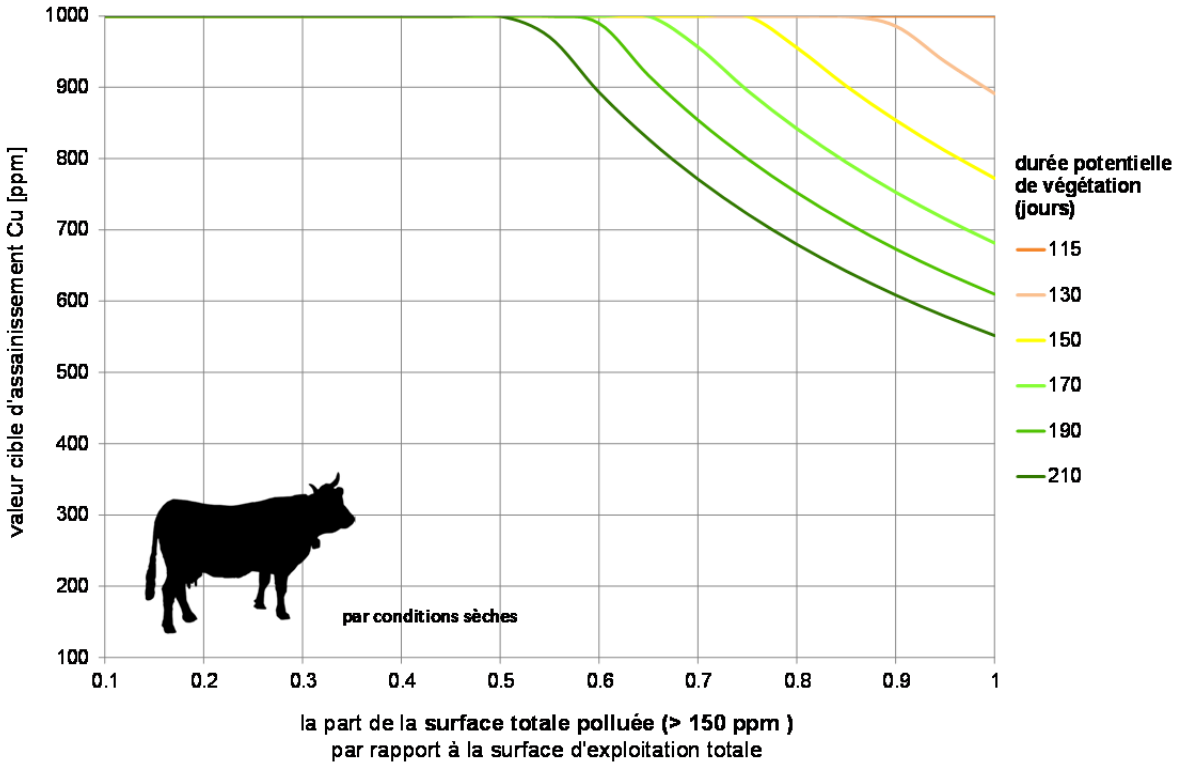


Ill. 9 Evaluation de la menace, niveau 2 pour le plomb – valable pour les bovins. A partir de la part de l'ensemble de la surface polluée (> 200 ppm), la valeur cible d'assainissement du plomb est déterminée pour la durée potentielle de végétation correspondant au site. Si aucune combinaison de la "part de surface polluée" et "durée potentielle de végétation " correspondante ne peut être déduite du diagramme, il convient alors d'adopter la valeur cible d'assainissement de 2000 ppm.

Evaluation de la menace, niveau 2 – cuivre



Ill. 10 Evaluation de la menace, niveau 2 pour le cuivre – valable pour les moutons (et éventuellement d'autres animaux de pâture à l'exception des bovins). A partir de la part de l'ensemble de la surface polluée (> 150 ppm), la valeur cible d'assainissement du cuivre est déterminée pour la durée potentielle de végétation correspondant au site.



Ill. 11 Evaluation de la menace, niveau 2 pour le cuivre – valable pour les bovins. A partir de la part de l'ensemble de la surface polluée (> 150 ppm), la valeur cible d'assainissement du cuivre est déterminée pour la durée de végétation potentielle correspondant au site. Si aucune combinaison de la "part de surface polluée" et "durée potentielle de végétation " correspondante ne peut être déduite du diagramme, il convient alors d'adopter la valeur cible d'assainissement de 1000 ppm.

4.4 Mesures

Le résultat de l'évaluation de la menace et les éventuelles mesures doivent être traçables. Il est donc vivement recommandé de consigner par écrit les plans d'utilisation (délimitations des pâturages) et les modes d'exploitation (pâturage de bovins, pâturage de moutons) dans les contrats d'exploitation futurs.
La démarche du présent guide et les scénarios pris en considération reposent sur l'hypothèse que les pâturages soient broutés de manière adéquate. En ce qui concerne les moutons en particulier, qui sont considérés comme des animaux de rente extrêmement sensibles, la charge maximum en bétail pour les pâturages à moutons doit être respectée. Dans le cas contraire, il existe le danger que les pâturages soient broutées trop profondément et que les animaux ingèrent nettement plus de particules du sol. Il faut toujours veiller à ce que la couche herbeuse soit bonne et épaisse, et qu'elle ne soit pas broutée trop en profondeur. Il faut également compter avec une ingestion du sol élevée lors de conditions humides prolongées et après de fortes précipitations ayant fortement pollué le fourrage avec des particules du sol. Une pâture des surfaces polluées lors de conditions humides devrait par conséquent être évitée autant que possible.
Une gestion des pâturages avec des pâturages tournants peut également réduire la charge des animaux. Avec une bonne gestion des pâturages et une rotation régulière, une exploitation excessive des pâturages peut être mieux contrôlée et la charge des animaux répartie de façon régulière sur une longue période.

4.4.1 Niveau 1

"Pas de menace concrète"

Si l'évaluation de la menace au niveau 1 montre qu'il n'y a "pas de menace concrète" du fait de l’utilisation et la pollution du site, la surface du domaine contrôlé selon les hypothèses mentionnées au chap. 4.4 est utilisable sans autres restrictions.
Les surfaces avec des pollutions supérieures à la valeur d'assainissement restent exclues de l'utilisation.

"Menace concrète"

Si le niveau 1 montre qu'il y a une "menace concrète", les places désaffectées sont alors évaluées au niveau 2.
Si la place de tir est encore utilisée, des restrictions d'utilisation ont généralement déjà été imposées pour l'agriculture, en raison des tirs intensifs. La règle est que la surface polluée ne peut pas être utilisée sans restrictions. À l’aide de clôtures, la part maximale tolérable de la surface polluée par rapport à la surface d'utilisation, déterminée au niveau 1, sera atteinte. Si des restrictions d'utilisation agricoles supplémentaires existent en raison des tirs, un spécialiste doit déterminer au cas par cas la menace concrète et les mesures adéquates.

4.4.2 Niveau 2

Afin de permettre à nouveau une utilisation usuelle du site, la valeur cible d'assainissement indique quelle teneur totale maximale en plomb ou en cuivre la surface d'exploitation peut encore contenir après un assainissement.
Si l’on considère qu'une pâture a généralement lieu dans des conditions sèches, cette valeur cible d'assainissement est recommandée.
Si les conditions diffèrent manifestement pour un site et que les surfaces de pâture sont plutôt toujours humides à mouillées, l'évaluation de la menace devient plus sévère. Dans une telle situation, une appréciation au cas par cas avec une évaluation détaillée de la menace doit être effectuée conformément au manuel.

4.5 Evaluation de la menace au moyen de deux cas

Le déroulement de l'évaluation de la menace selon l'Ill. 4 et l'Ill. 5 est clarifié au moyen des deux cas suivants. Des cas réels ont été choisis comme exemples et en partie adaptés (type d'utilisation, surface de pâturage, etc.) afin de mieux présenter la procédure.

4.5.1 Cas 1

Le site pris en considération (Ill. 12) se situe au nord des Alpes entre 1600 et 1800 m d'altitude et a été utilisé intensivement pour des tirs militaires. Pour ce cas, il est supposé que le site est utilisé en tant que pâturages destinés aux moutons. Les pâturages sont de grande taille, s'étendent sur plusieurs hectares et sont exploités par différents fermiers.

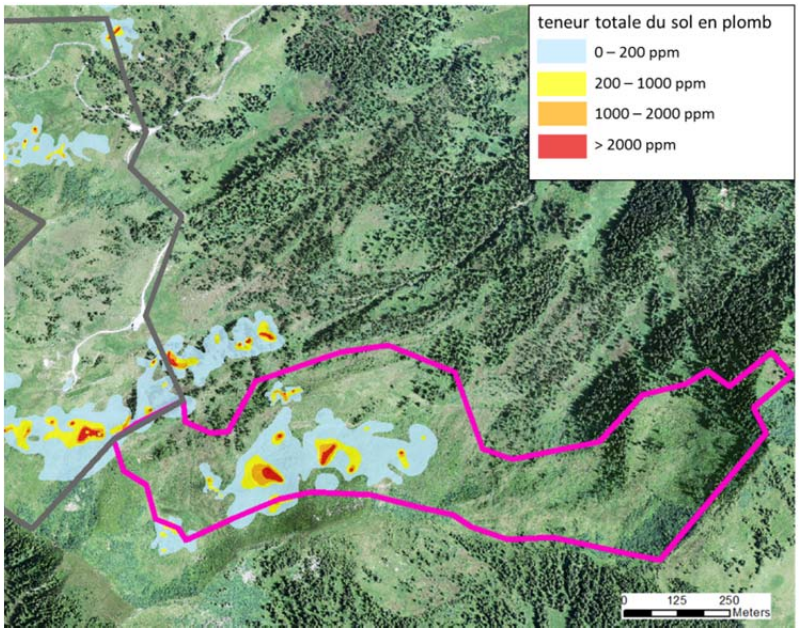
Analyse de la menace

Une surface entièrement isolée et clairement délimitée est prise en considération comme surface d'exploitation à évaluer.
Le modèle de pollution pour le plomb tiré d'un compte rendu d'investigations techniques comporte des surfaces ne nécessitant pas une prise de mesures (< seuil d'investigation), des surfaces dans le domaine contrôlé (200 – 2000 ppm), ainsi que des surfaces avec besoin d'assainissement (> 2000 ppm). Des surfaces avec des valeurs de pollution supérieures à la valeur d'assainissement ne doivent pas être pâturées et ne sont par conséquent pas considérées comme des surfaces d'utilisation actuelles et effectives (Tab. 3).

Tab. 3 Surfaces polluées et surfaces utilisées du cas 1.

		Surface [ha]
1	Surface d'exploitation	42.9
2	Surface avec besoin d'assainissement Pb > 2000 ppm	0.2
3	Surface dans le domaine contrôlé 200 < Pb < 2000 ppm	1.2
4	Surface d'utilisation actuelle et effective (= 1- 2)	42.7

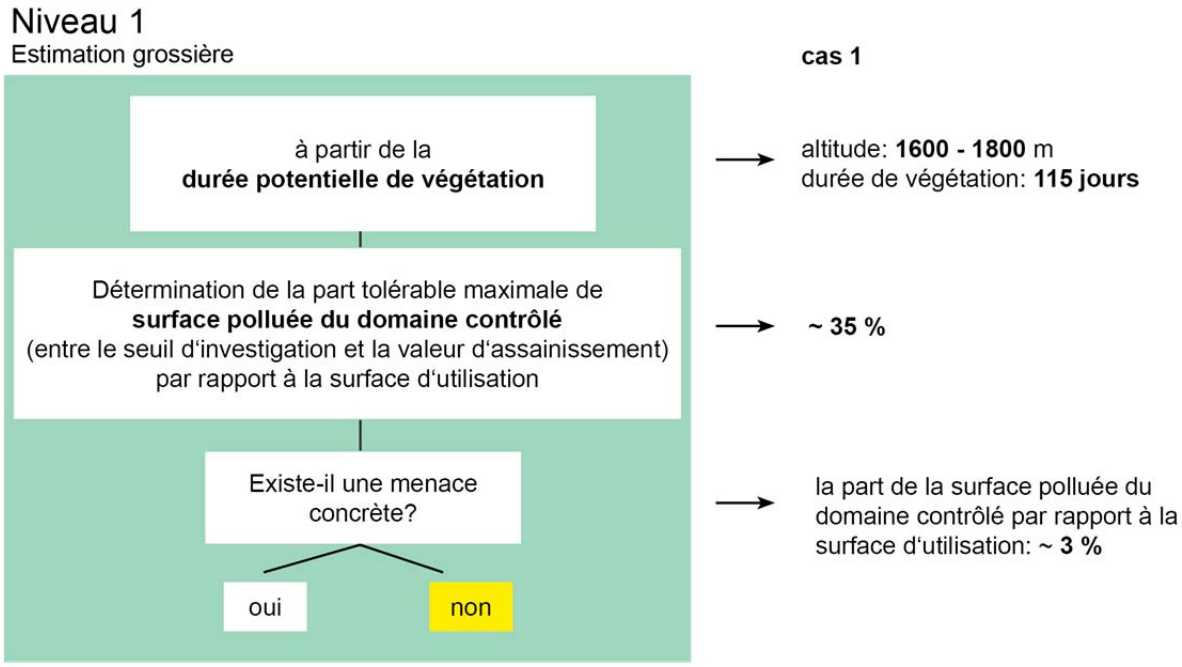
La part de la surface polluée dans le domaine contrôlé (1.2 ha) par rapport à la surface d'utilisation effective (42.7 ha) s'élève ainsi à peine à 3%.



Ill. 12 Des surfaces contaminées par du plomb sur un pâturage de grande taille au sein de deux parcelles limitrophes. Dans l'exemple, la surface de pâturage marquée en rose est évaluée séparément comme surface d'exploitation.

La surface d'utilisation prise en considération se situe entre 1600 et 1800 m d'altitude. Selon le Tab. 2, la durée potentielle de végétation est de 115 jours. Le site est utilisé comme pâturage de moutons.

Evaluation de la menace



Ill. 13 Déroulement de l'évaluation de la menace pour le cas 1.

Pour une durée potentielle de végétation de 115 jours, la part maximale tolérable de la surface polluée du domaine contrôlé par rapport à la surface d'utilisation est d'environ 35% (Ill. 6).
En raison de la situation en matière d'utilisation et de pollution de la surface prise en considération, la part effective ne se situe toutefois qu'à 3%. C'est, par conséquent, bien en-dessous de la valeur limite déterminée, c'est pourquoi une menace concrète peut être exclue avec l'utilisation usuelle actuelle du site.
Si, en référence aux recommandations de la brochure « Erosion du sol en zone d'estivage » (Sutter & Keller, 2009), l'estivage des bovins et moutons devait par la suite se faire avec 4 ou 5 enclos sur cette surface de pâturage, il conviendrait alors de procéder à une nouvelle estimation de la menace sur les surfaces adaptées.

4.5.2 Cas 2

Le site pris en considération (Ill. 14) se situe également au nord des Alpes, toutefois à 1800 m d'altitude, et a été utilisé intensivement pour les tirs. La zone de pâturage est fortement parcellée, si bien que les différents pâturages ne s'étendent que sur de petites surfaces d'une centaine de mètres carrés. Le pâturage est utilisé comme pâturage de bovins.

Analyse de la menace

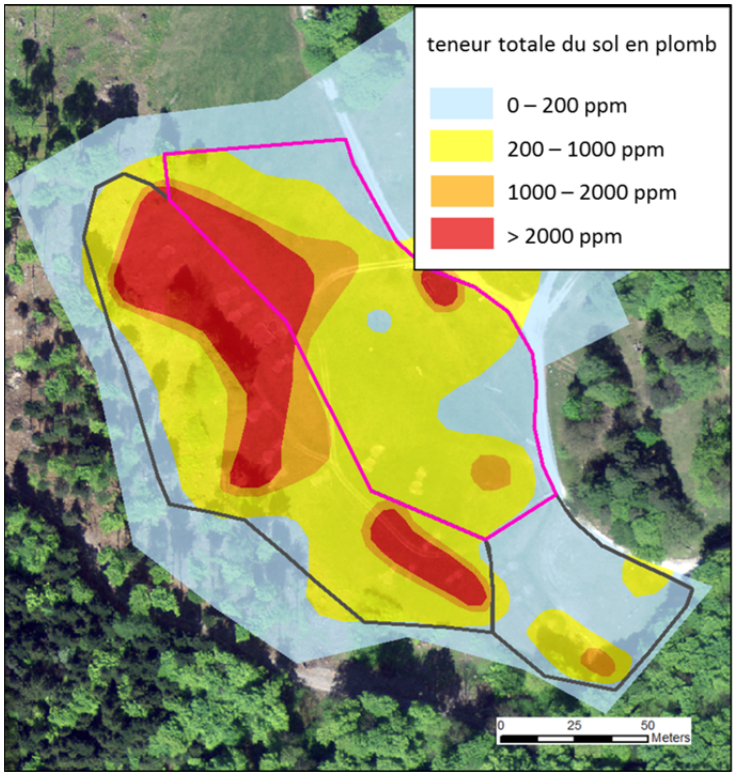
Selon le compte rendu d'investigations techniques, il ressort du plan d'exploitation et des surfaces contaminées par du plomb les surfaces suivantes:

Tab. 4 Surfaces polluées et surfaces utilisées du cas 2.

	Surface

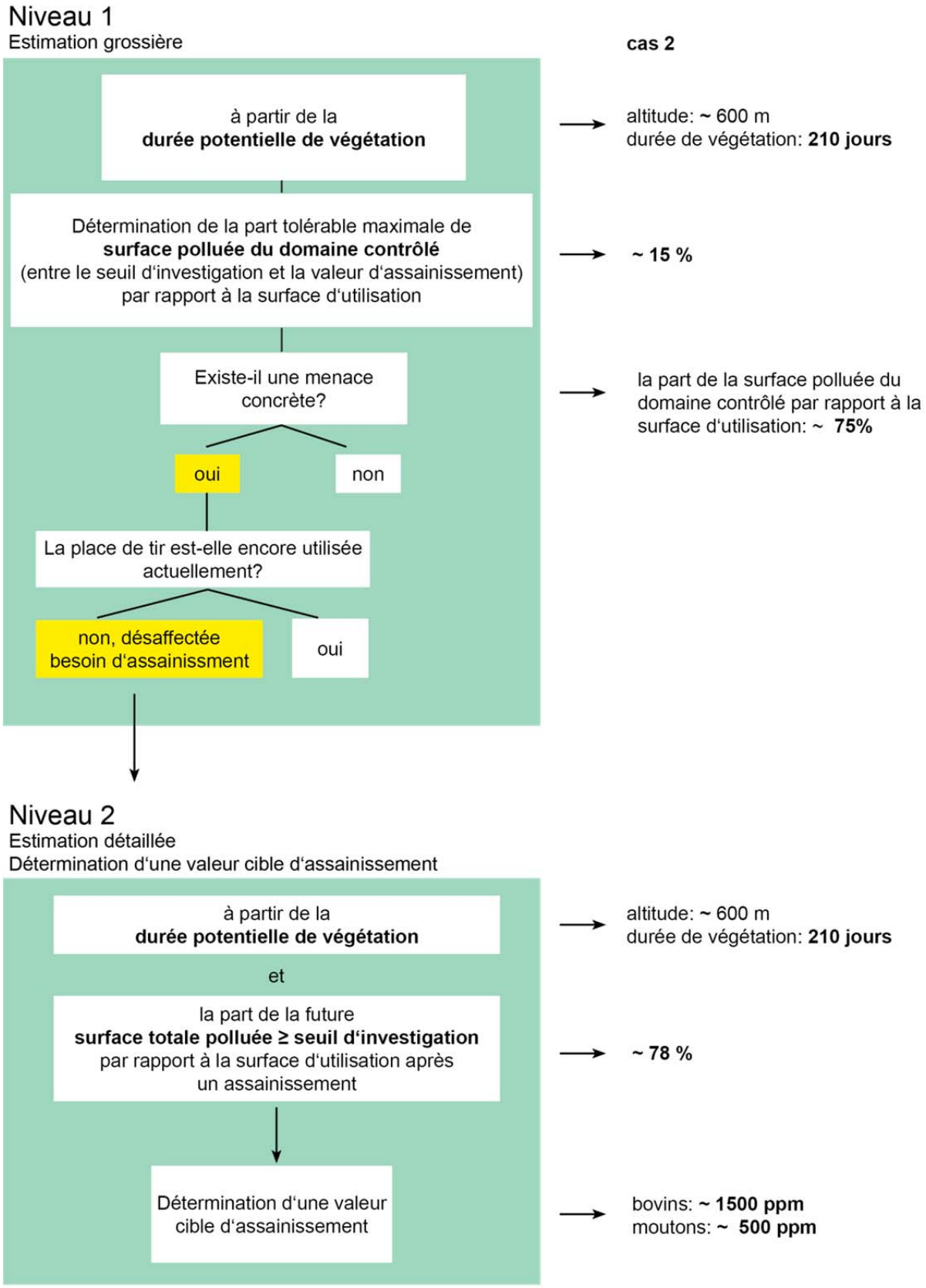
		[ha]
1	Surface d'exploitation	0.9
2	Surface avec besoin d'assainissement Pb > 2000 ppm	0.1
3	Surface dans le domaine contrôlé 200 < Pb < 2000 ppm	0.6
4	Surface d'utilisation actuelle et effective (= 1- 2)	0.8

La part de la surface polluée dans le domaine contrôlé (0.6 ha) par rapport à la surface d'utilisation effective (0.8 ha) s'élève ainsi à 75%.
La surface d'utilisation se trouve à environ 600 m d'altitude. La durée potentielle de végétation est par conséquent de 210 jours.



Ill. 14 Surfaces contaminées par du plomb sur un pâturage de petite taille avec trois parcelles. Dans l'exemple, la surface marquée en rose est évaluée séparément comme surface d'exploitation.

Evaluation de la menace

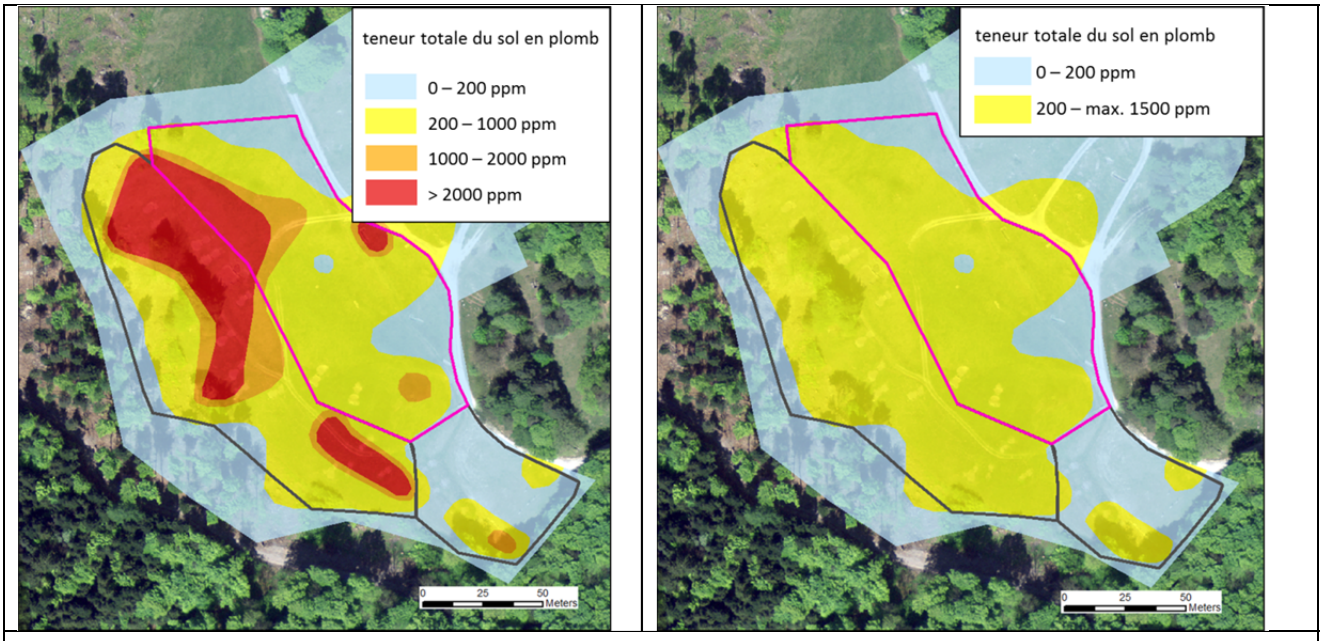


Ill. 15 Déroulement de l'évaluation de la menace pour le cas 2.

La durée potentielle de végétation pour la surface considérée est de 210 jours. La part maximale tolérable de la surface polluée du domaine contrôlé par rapport à la surface d'utilisation s'élève ainsi à

environ 15%.
La situation du cas indique que la part effective s'élève toutefois à 75% et se situe donc largement au-dessus de la valeur limite (Ill. 6).
Avec l'utilisation actuelle usuelle du site, on part du principe qu'il y a une menace concrète et que des mesures doivent impérativement être prises pour exclure une menace.
La question suivante qui se pose est de savoir si la place de tir continuera d'être utilisée pour les tirs. Si tel était le cas, la part de la surface polluée du domaine contrôlé devrait être réduite jusqu'à ce qu'une menace concrète puisse être exclue. Pour une durée de végétation de 210 jours, la part maximale tolérable serait de 15%. Cela peut être atteint en clôturant la zone polluée.
Toutefois, si la place de tir est désaffectée comme dans le cas illustré ici et sera assainie à l'avenir, c'est le niveau 2 de l'évaluation de la menace qui s'applique pour déterminer une valeur cible d'assainissement.
Le but de l'assainissement est de permettre à nouveau une utilisation usuelle du site pour l'ensemble de la surface d'exploitation. C'est la raison pour laquelle la *totalité* de la surface d'exploitation de 0.9 ha est considérée comme surface d'utilisation - y compris les surfaces qui sont actuellement encore supérieures à la valeur d'assainissement. Une surface de quelque 0.7 ha sera encore supérieure au seuil d'investigation après l'assainissement (0.6 ha + 0.1 ha) et la surface d'exploitation (= surface d'utilisation) représentera une part de 78%. Pour cette surface, une valeur cible d'assainissement a été déterminée au moyen de l'Ill. 9, qui s'élève tout juste à 1500 ppm de plomb pour les bovins pour une durée potentielle de végétation de 210 jours.

Dans le cas 2



Ill. 16 Surface de pâturage polluée (marquée en rose) avant (à gauche) et après l'assainissement (à droite). La valeur cible d'assainissement Pb pour la surface hautement polluée a été fixée à 1500 ppm.

5 Evaluation de la menace lors de fauche

5.1 Analyse de la menace

L'analyse de la menace lors de l'utilisation de la fauche est effectuée selon l'Ill. 4 de manière similaire à l'analyse de la menace qui est décrite pour les pâturages au chapitre 4.1.

5.2 Evaluation de la menace

Contrairement au cas de figure du pâturage, l'altitude du site et la durée d'utilisation n'ont pas d'importance en cas de fauche. Le produit de la fauche, qui a été évacué du pâturage, est évalué et doit suffire aux exigences de l'Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux (OSALA; RS 916.307 et OLALA; RS 916.307.1) pour l'aliment complet.
A la place d'un facteur d'ingestion par consommation directe de l'animal (part de métal lourd dans le fourrage par ingestion orale), un facteur de contamination[2] du produit de la fauche par le métal lourd est pris en considération.
On différencie entre une utilisation du produit de fauche comme foin, fourrage sec ou ensilage et une utilisation de la fauche fraîche. D'après le manuel (Mailänder & Hämmann, 2005) et les experts, les facteurs de contamination sur lesquels se fonde l'évaluation de la menace ci-après sont les suivants:

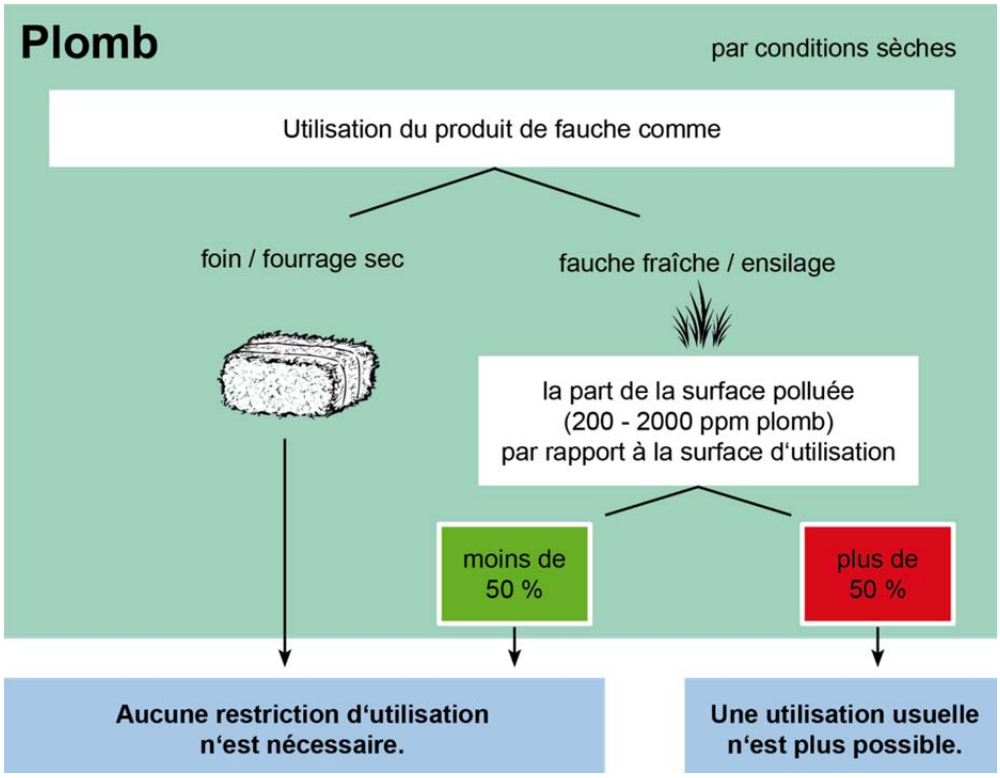
- Foin / fourrage sec / ensilage: 3% de particules du sol de la consommation totale (matière sèche)
  [Remarque: la valeur supérieure de 3% pour les conditions sèches, tirée du manuel, a été choisie]
- Fauche fraîche: 7% de particules du sol de la consommation totale (matière sèche)

Dans le cas du cuivre, il faut distinguer en outre une utilisation de la fauche pour des moutons de celle pour des bovins, car les teneurs maximales en cuivre admissibles selon l'OLALA se différencient fortement dans le fourrage vert.

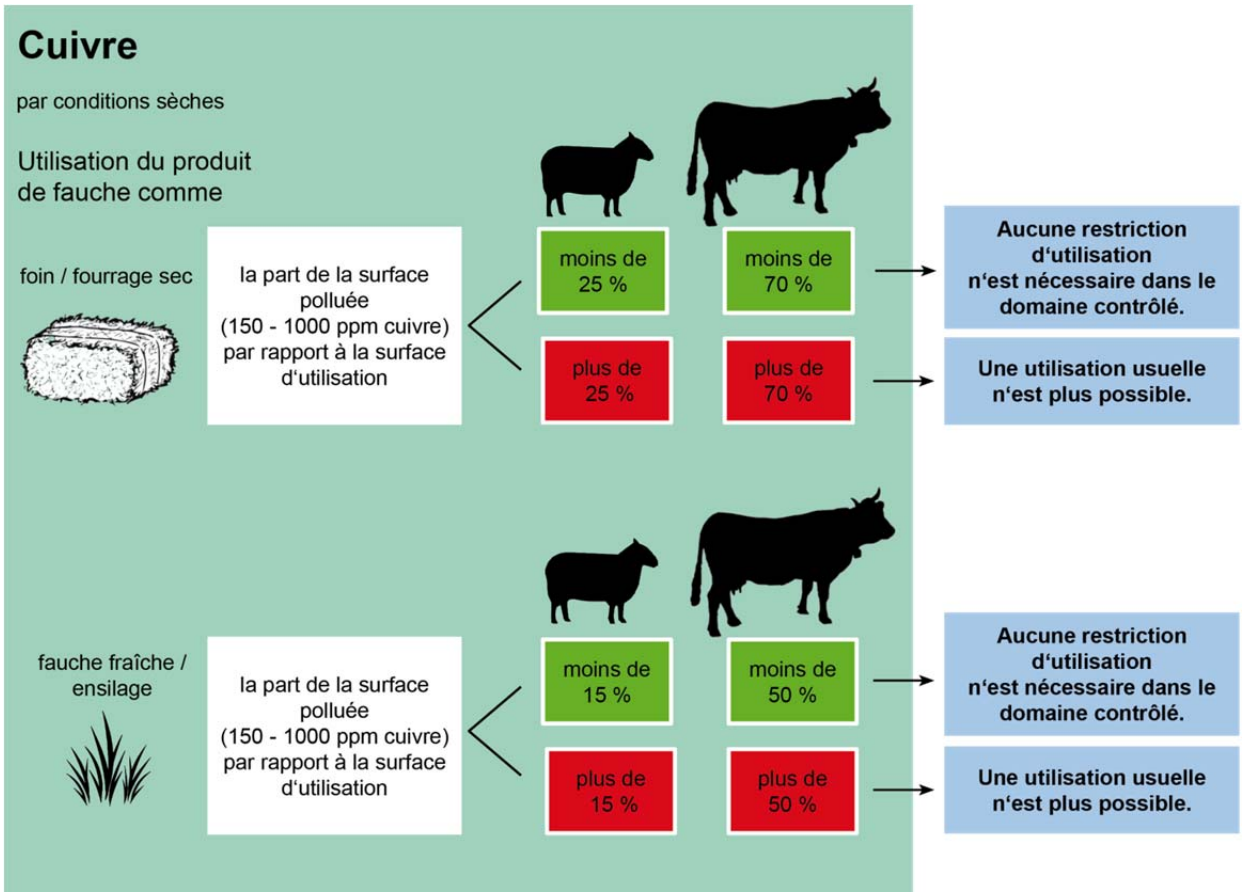
S'il y a simultanément des pollutions au plomb et au cuivre, l'évaluation avec une menace élevée est appliquée.

Pour plus de détails concernant les bases de calcul, voir l'annexe D.

[2] Le facteur de contamination décrit la part d'ingestion du sol par les animaux de rente lors de l'alimentation avec du foin, de l'ensilage ou de la fauche fraîche purement par les souillures terreuses des plantes fourragères. Une ingestion de particules du sol par consommation directe à partir du pâturage n'a pas lieu.



Ill. 17 Evaluation de la menace lors de la fauche pour le plomb.



Ill. 18 Evaluation de la menace lors de la fauche pour le cuivre.

5.3 Mesures

Fauche comme foin / fourrage sec

Dans le cas du plomb, aucune restriction d'utilisation n'est nécessaire dans le domaine contrôlé pour une utilisation du produit de la fauche comme foin / fourrage sec, cela toutefois uniquement dans le cas où la production de foin a lieu dans des conditions sèches. Si tel n'est pas le cas, une évaluation détaillée de la menace doit être effectuée conformément au manuel. Alternativement, une évaluation selon la forme d'utilisation "fauche fraîche" peut aussi être prise en considération.

Dans le cas du cuivre, il faut impérativement faire la distinction entre l'utilisation du produit de la fauche pour les moutons et celle pour les bovins. Les moutons sont extrêmement sensibles au cuivre. Si moins de 25% de la surface de fauche se situent dans le domaine contrôlé, aucune restriction d'utilisation n'est nécessaire. Si le produit de la fauche est utilisé pour des bovins, alors la part limite s'élève à 70%. Si de plus grandes surfaces sont polluées avec des teneurs en cuivre supérieures au seuil d'investigation, une utilisation normale du site n'est plus possible ici non plus.

Fauche comme fauche fraîche / ensilage

Pour satisfaire aux concentrations maximales admissibles de plomb dans le fourrage vert selon l'OLALA, la surface polluée (200 – 2000 ppm de plomb) ne doit pas dépasser une part de 50% dans le domaine contrôlé.
Ainsi, si moins de la moitié de la surface de fauche est polluée avec une teneur en plomb supérieure à la valeur limite, il ne résulte aucune restriction d'utilisation pour la surface du domaine contrôlé. Si tel n'est pas le cas, une utilisation qui correspond au site n'est plus possible.

La même valeur limite est aussi valable pour le cuivre, si la fauche fraîche est utilisée pour des bovins. Par contre, si la fauche fraîche est utilisée pour des moutons, la valeur limite ne s'élève qu'à 15%.

Important : si une évaluation de la menace est effectuée sur la base d'une "fauche", il faut s'assurer que la fauche correspond à l'utilisation normale du site. Si l'utilisation devait changer (pâturages à l'avenir), une évaluation de la menace devrait être effectuée pour la nouvelle situation. Le type d'exploitation ainsi que les éventuelles restrictions d'utilisation sur la base de l'évaluation de la menace doivent être consignées par écrit dans les contrats d'exploitation.

Bibliographie

Abrahams, P. W. & Steigmajer, J. (2003). Soil ingestion by sheep grazing the metal enriched floodplain soils of mid-Wales. *Environmental Geochemistry and Health, 25*(1), 17-24.

Allcroft, R. & Blaxter, K. L. (1950). Lead as a nutritional hazard to farm livestock. *Journal of Comparative Pathology and Therapeutics, 60*, 209-218.

Botts, R. P. (1977). *The short-term effects of lead on domestic and wild animals* (Ecological research series; EPA-600/3-77-009 Aufl.) Environmental Protection Agency.

Braun, U., Pusterla, N. & Ossent, P. (1997). Lead poisoning of calves pastured in the target area of a military shooting range. *Schweizer Archiv für Tierheilkunde, 139*(9), 403-407.

Verordnung des WBF über die Produktion und das Inverkehrbringen von Futtermitteln, Zusatzstoffen für die Tierernährung und Diätfuttermitteln (Futtermittelbuch-Verordnung, FMBV, (2011).

Hämmann, M. & Gupta, S. K. (1997). *Herleitung von Prüf- und Sanierungswerten für anorganische Schadstoffe im Boden*. Bern:

Herlin, A. H. & Andersson, I. (1996). *Soil ingestions in farm animals*. Lund, Sweden: Swedish University of Agricultural Sciences.

Institut für Veterinärpharmakologie und -toxikologie. (2014). *CliniTox.* Zugriff am 17.10.2014. Verfügbar unter http://www.vetpharm.uzh.ch/reloader.htm?clinitox/toxdb/WDK_001.htm?clinitox/wdk/toxiwdk.htm

Jurjanz, S., Feidt, C., Perez-Prieto, L. A., Ribeiro Filho, H. M., Rychen, G. & Delagarde, R. (2012). Soil intake of lactating dairy cows in intensive strip grazing systems. *Animal : an international journal of animal bioscience, 6*(8), 1350-1359.

Kettler, R. & Schenk, K. (2007). *VASA-Abgeltungen bei Schiessanlagen. Mitteilung des BAFU als Vollzugsbehörde. Umwelt-Vollzug Nr. 0634.* Bern: Bundesamt für Umwelt.

Liu, Z. P. (2003). Lead poisoning combined with cadmium in sheep and horses in the vicinity of nonferrous metal smelters. *The Science of the total environment, 309*(1-3), 117-126.

Mailänder, R. A. & Hämmann, M. (2005). *Handbuch - Gefährdungsabschätzung und Massnahmen bei schadstoffbelasteten Böden - Gefährdungsabschätzung Boden.* Bern:

Perrin, D. J., Schiefer, H. B. & Blakley, B. R. (1990). Chronic copper toxicity in a dairy herd. *Canadian Veterinary Journal, 31*, 629-632.

Schreiber, K. F., Kuhn, N., Hug, C., Häberli, R. & Schreiber, C. (1977). *Wärmegliederung der Schweiz aufgrund von phänologischen Geländeaufnahmen in den Jahren 1969 bis 1973*. Bern: EJPD.

Smith, K. M., Abrahams, P. W., Dagleish, M. P. & Steigmajer, J. (2009a). The intake of lead and associated metals by sheep grazing mining-contaminated floodplain pastures in mid-Wales, UK: I. Soil ingestion, soil-metal partitioning and potential availability to pasture herbage and livestock. *The Science of the total environment, 407*(12), 3731-3739.

Smith, K. M., Abrahams, P. W., Dagleish, M. P. & Steigmajer, J. (2009b). The intake of lead and associated metals by sheep grazing mining-contaminated floodplain pastures in mid-Wales, UK: I. Soil ingestion, soil-metal partitioning and potential availability to pasture herbage and livestock. *The Science of the total environment, 407*(12), 3731-3739.

Ordonnances et directives

Ordonnance du 1er juillet 1998 sur les atteintes portées aux sols (OSol; RS 814.12)

Ordonnance du 26 octobre 2011 sur la production et la mise en circulation des aliments pour animaux (Ordonnance sur les aliments pour animaux, OSALA; RS 916.307)

Ordonnance du 26 octobre 2011 du DEFR sur la production et la mise en circulation des aliments pour animaux, des additifs destinés à l'alimentation animale et des aliments diététiques pour animaux (Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux, OLALA; RS 916.307.1)

Ordonnance du 26 août 1998 sur l'assainissement des sites pollués (Ordonnance sur les sites contaminés, OSites ; RS 814.680)

Directive pour la valorisation, le traitement et le stockage des matériaux d'excavation et déblais (1999, Directive sur les matériaux d'excavation; VU-3003-F).

Annexe A Explications concernant la classification du présent guide

A 1 Difficultés de la pratique actuelle d'exécution

Pour le DDPS, les pratiques cantonales très différentes en matière d'assainissement des installations de tir sont problématiques. Par exemple, en fonction des cantons, des assainissements jusqu'à une valeur de 50, 200, 300, ou 1000 ppm de plomb sont exigés. En tant qu'organe de la Confédération, il est toutefois nécessaire pour le DDPS de garantir une procédure uniforme au niveau national, reposant sur des données solides et pouvant être mise en œuvre sur le plan pratique aussi dans des secteurs difficilement accessibles. Il faut notamment voir d'un œil critique les assainissements de grandes surfaces dans les régions alpines et subalpines, qui pourraient conduire à d'importants problèmes logistiques (voies d'accès inexistantes, manque de décharges) et à d'éventuels conflits d'intérêts avec d'autres aspects environnementaux (destruction de la couverture végétale sensible, déclenchement de glissements de terrain). De plus, des pertes inutiles et injustifiées dans l'utilisation agricole doivent être évitées.
Lors de l'évaluation de la menace au moyen du manuel et du système expert, ce sont souvent des scénarios catastrophes qui sont calculés. Ainsi, par exemple, l'ingestion du sol par des animaux de rente est souvent calculée avec un sol mouillé, bien qu'il soit recommandé dans le manuel que l'ingestion du sol ait lieu avec un sol sec, cela correspondant plutôt au cas normal. D'une part, on se tient du côté de la sécurité avec de telles hypothèses et on peut maintenir le risque au minimum. D'autre part, certaines hypothèses peuvent aussi être disproportionnées et un éventuel potentiel d'utilisation est ainsi perdu.
Selon les indications dans les "Indemnisations en vertu de l'OTAS pour les installations de tir" (Kettler & Schenk, 2007), une valeur limite de 1000 ppm plomb a été introduite comme objectif d'assainissement "général" sur les installations de tir. Des données empiriques concernant la maladie de bovins lors d'une pâture sur des surfaces polluées par du plomb ont servi de base. C'est pourquoi on a réduit la véritable valeur d'assainissement en vertu du droit sur les sites contaminés selon l'OSites (2'000 mg Pb/kg MS) pour des raisons liées à la précaution.
Pour les places de tir de l'armée, il est par conséquent indiqué de compléter et de concrétiser l'évaluation de la menace prévue dans le manuel (Mailänder & Hämmann, 2005) avec des facteurs de réduction réalistes et quantifiables et des indications détaillées concernant la méthode. La méthode ne doit pas fournir un objectif général pour tous les sites, mais permettre une évaluation séparée d'un site basée sur les risques.

A 2 Objectif du présent guide

Les grandes surfaces des places de tir militaires, qui présentent des pollutions situées entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement, nécessitent une réglementation contraignante au niveau national concernant la façon dont il faut les gérer. L'excavation et l'élimination de la totalité de la surface polluée ne sont pas possibles, tant pour des motifs écologiques que pour des motifs économiques (destruction de grandes surfaces de paysages, remplissage de décharges, déstabilisation des pentes, etc.). De même, une telle méthode contredirait l'indication de l'OFEV, selon laquelle il n'existe (généralement) aucune disposition légale pour une décontamination inférieure à 1000 ppm de plomb.
Le nouveau guide élaboré doit permettre une évaluation réaliste de la menace dans le domaine contrôlé et concrétiser les dispositions du manuel, où cela est nécessaire, pour l'application sur les places de tir de l'armée.
Cette méthode doit garantir que les pollutions de l'environnement soient minimisées et que les coûts ne soient pas disproportionnés. Simultanément, la méthode existante pour l'évaluation de la menace sur les installations de tir civiles à 300 m ne doit pas être concurrencée ou être remise en question.
Les questions suivantes se posent:

- Quelles hypothèses réalistes doivent être acceptées pour l'évaluation de la menace dans les herbages sur les places de tir de l'armée (concerne avant tout la grandeur de la surface polluée, les durées d'utilisation, les facteurs d'ingestion, les facteurs de transfert de métaux lourds, etc.)?
- Quels facteurs de réduction doivent être pris en considération lors d'évaluations de la menace pour les herbages sur les places de tir de l'armée et comment sont-ils quantifiés (p. ex. utilisation temporelle, étendue de la pollution par des métaux lourds)?
- Comment une méthode uniforme d'évaluation de la menace dans les herbages sur les places de tir peut-elle être formulée sur la base du manuel et des systèmes experts?

A 3 Procédure et bases élaborées

Au début de l'étude, les bases scientifiques et l'état actuel de la recherche ainsi que de la pratique concernant les évaluations de la menace sur les sols pollués par des métaux lourds ont d'abord été élaborés. Cela comprenait notamment:

- Bases de calcul et établissement des seuils d'investigation et des valeurs d'assainissement du plomb et du cuivre, qui se trouvent dans l'OSol
- Compréhension du Manuel "Sols pollués. Evaluation de la menace et mesures de protection" (Mailänder & Hämmann, 2005)
    - Notamment: compréhension de l'évaluation détaillée de la menace
- Recherches de littérature au sujet
    - des facteurs d'ingestion (moutons, bovins)
    - des facteurs de transfert sol – plantes
    - des seuils d'investigation et valeurs d'assainissement, resp. des "soil screening levels" pour les métaux lourds en comparaison internationale
    - de la procédure pour les évaluations de la menace des herbages en comparaison internationale
- Visualisation des données du modèle de pollution et des conditions de site sur les places de tir de l'armée du DDPS
- Procédure/exécution de la procédure des différents cantons en matière d'évaluation de la menace

Deux relevés sur le terrain ont renseigné sur les conditions liées au site et à l'exploitation sur les places de tir de l'armée. Ils ont en outre permis d'évaluer les possibilités de ce à quoi pouvait ressembler une méthode ciblée d'évaluation de la menace et quelles mesures de prévention des menaces seraient réalisables dans la pratique.
A partir des instructions du manuel pour l'évaluation de la menace de l'OFEV, une procédure a été déterminée pour le cas spécial des places de tir de l'armée avec herbages (pâture et fauche). Le système expert a été concrétisé pour une exécution ciblée avec des dispositions claires et une marge de manœuvre restreinte. Les mesures en découlant pour la pratique doivent être compréhensibles et vérifiables. L'état du projet et le niveau de développement a été suivi de façon continue par un groupe de projet technique et un groupe d'accompagnement avec des représentants des cantons et de la Confédération.

Annexe B Bases de calcul générales du présent guide

B 1 Base: évaluation détaillée de la menace du manuel

Dans le chapitre 5.2 et l'annexe 4 du manuel (Mailänder & Hämmann, 2005), la méthode d'une évaluation détaillée de la menace pour les cultures fourragères est décrite. Cette méthode sert de base pour les calculs du présent guide. Les mêmes principes pour calculer le potentiel de menace sont aussi contenus dans le document "Etablissement de seuils d'investigation et de valeurs

d'assainissement pour les polluants inorganiques dans les sols" (Hämmann & Gupta, 1997), des seuils et des valeurs aujourd'hui ancrés dans l'OSol.
Dans le chapitre 5.2 du manuel concernant l'évaluation détaillée de la menace pour les cultures fourragères, l'**exposition totale** des animaux de rente concernés est prise en considération dans l'analyse de la menace (voir la formule A4.2 du manuel ainsi que la formule (6) tirée du document "Etablissement de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement" (Hämmann & Gupta, 1997)):

$$C_{\text{Mélange de fourrage}} = \sum g_{\text{i}}\ C_{\text{Fourrage,i}} \qquad (1)$$

avec $C_{\text{Mélange de fourrage}}$ Pollution totale du fourrage du type d'animal de rente [mg/kg MS]
g_i Part d'un aliment isolé i par rapport à la ration de fourrage totale
$C_{\text{Fourrage,i}}$ Teneur en polluants de l'aliment isolé [mg/kg MS]

La pollution d'un aliment de fourrage isolé consommé est composée de la voie de contamination partielle Sol → animal (ingestion orale directe) et de la voie de contamination partielle Sol → plante fourragère → animal. Elle se calcule comme suit (voir la formule F5.5 du manuel):

$$C_{\text{Fourrage,i}} = vo\ C_{\text{Sol}} + C_{\text{Plante fourragère i}} \qquad (2)$$

avec $C_{\text{Fourrage,i}}$ Pollution totale du fourrage isolé
vo Part d'ingestion orale directe / part de pollution par le sol
C_{Sol} Concentration des polluants dans le sol [mg/kg MS]; teneur totale selon OSol
$C_{\text{Plante fourragère,i}}$ Concentration dans la plante fourragère i [mg/kg MS]

La formule (2) contient la concentration d'un polluant dans la plante fourragère. La concentration dépend du facteur de transfert sol – plante en lien avec la teneur totale dans le sol, où seule la part de polluant qui n'est pas ingérée directement par voie orale (=1-vo) est ingérée par le biais de la plante fourragère. La base de calcul avec cette voie de contamination est tirée du document "Etablissement de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement pour les polluants inorganiques dans les sols" (Hämmann & Gupta, 1997), dont les valeurs sont aujourd'hui ancrées dans l'OSol.

$$C_{\text{Plante fourragère, i}} = t_{\text{total}}\ C_{\text{Sol}}(1 - vo) \qquad (3)$$

où:

$$t_{\text{total}} = \frac{C_{\text{Plante fourragère}}}{C_{\text{Sol}}} \qquad (4)$$

avec t_{total} Facteur de transfert sol (teneur totale) → plante

B 2 Facteurs d'ingestion / facteurs de contamination

Le facteur d'ingestion ou de contamination *vo* de la formule (2) est le facteur le plus sensible en ce qui concerne le calcul de la concentration des polluants dans la plante fourragère. Le manuel existant impose une large fourchette pour ce facteur (Tab. 5). Selon le type d'animal de rente (mouton, bovin), le bien à utiliser (consommation directe, herbe de fauche/pour ensilage, foin) ou des conditions de pâture (sol mouillé/sec), une valeur correspondante doit être utilisée. Il est recommandé d'utiliser la valeur moyenne pour la condition "sol sec". Cela met les utilisateurs du manuel face à une grande décision. L'expérience montre qu'en cas de doute ceux-ci ont tendance à pencher du côté de la prudence et admettent une valeur plutôt élevée pour des conditions mouillées.

Tab. 5 Sol ingéré par voie orale (vo) par les animaux de rente par consommation directe ou par des polluants mélangés à la terre. Le tableau est extrait du manuel existant (Mailänder & Hämmann, 2005).

Culture	Sol ingéré par voie orale (vo) directement ou par des polluants mélangés à la terre [en % de la consommation ; MS]			
	Bovin		Mouton	
	Conditions durant le pacage / la récolte			
	Sol sec	Sol détrempé	Sol sec	Sol détrempé
Consommation directe (pacage, herbe fraîche)	0–5	5–10	10–15	20–30
Herbe de fauche / d'ensilage	0–5	10–15	0–5	10–15
Foin	0–3	5–10	0–3	5–10

En interrogeant différents utilisateurs du manuel et du système expert, il est clairement apparu qu'une valeur individuelle décisive serait souhaitable pour le facteur d'ingestion.
Le fait est que la fourchette de ce facteur est très grande en fonction de l'animal de rente et de la nature du sol. Différentes études concernant les taux d'ingestion des moutons (Tab. 6) et des bovins (Tab. 7) ont été examinées à cette fin et discutées avec des experts du groupe de projet et du groupe d'accompagnement.

Tab. 6 Vue d'ensemble d'autres taux d'ingestion du sol par des moutons.

Part de sol par rapport à la quantité totale de fourrage (% du poids total)	**Conditions**	**Source**
3.7 – 10.7 (fourchette) 6.8 au maximum 14	Climat sec, température élevée	Valeurs issues de différentes études, compilées dans la Review de Herlin & Andersson (1996)
0.1 – 81.8 (fourchette); 7.6 (valeur moyenne) 1.3 – 19 (fourchette); 5.2 (valeur moyenne) 8.3 – 20.1 (fourchette); 11.6 (valeur moyenne)	Sols alluviaux dans les Galles centrales, sols mouillés, conditions météorologiques plutôt humides Printemps Hiver (humide)	(Smith, Abrahams, Dagleish & Steigmajer, 2009a)
0.4 – 45.1 (fourchette) 7.4 (valeur moyenne) 17.6 (valeur moyenne) 9.0 (valeur moyenne) 1.5 (valeur moyenne)	Sols alluviaux dans les Galles centrales, sols mouillés, conditions météorologiques plutôt humides Janvier Mars Mai Juillet	(Abrahams & Steigmajer, 2003)

Tab. 7 Vue d'ensemble d'autres facteurs d'ingestion du sol par des bovins.

Part de sol par rapport à la quantité totale de fourrage (% du poids total)	**Conditions**	**Source**
0.5 – 1.2 (fourchette) 3.4	Climat sec, température élevée	Valeurs issues de différentes études, compilées dans la Review de Herlin & Anders-son (1996)
1.38 – 2.43 (fourchette)	Pâturage et alimentation supplémentaire	
1.2 – 18.8 (fourchette); 6.2 (valeur moyenne)	Conditions semi-arides	
1.5 – 17.9 (fourchette); 4.5 (valeur moyenne) 0.2 – 3.9 (fourchette); 1.49 (valeur moyenne) 1.4 – 4.7 (fourchette); 3.01 (valeur moyenne) 1.1 – 10.9 (fourchette); 4.5 (valeur moyenne) 1.6 – 6.0 (fourchette); 3.3 (valeur moyenne) 4.9 – 6.4 (fourchette); 5.7 (valeur moyenne)	Avril Juin Août Novembre Janvier Mars	
1.1 – 7.3 (fourchette); 3.7 (valeur moyenne)	Grande fourchette en lien avec l'alimentation supplé-mentaire et l'accès au pâtu-rage	(Jurjanz et al., 2012)

Les valeurs pour les facteurs d'ingestion du système expert existant (Tab. 5) semblent être fixées très haut. En principe, les valeurs pour les conditions sèches devraient être utilisées. Les facteurs suivants ont été considérés comme utiles, discutés avec des experts du groupe d'accompagnement et utilisés pour les calculs dans le présent guide:

Tab. 8 Facteurs d'ingestion ou facteurs de contamination qui sont utilisés pour les calculs dans le présent guide.

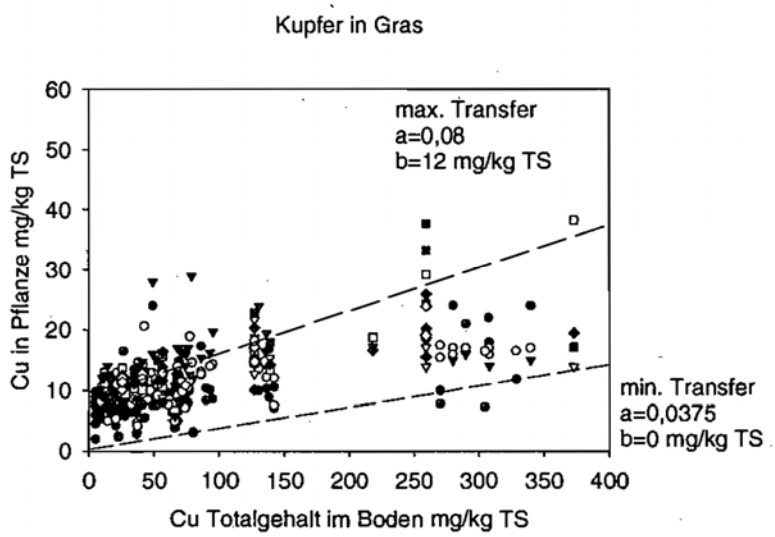
Facteur d'ingestion par consommation directe [en % de la consommation totale; MS]		
Niveau 1	Tous les animaux de rente	30
Niveau 2	Mouton Bovin	15 5

Facteur de contamination du fourrage [en % de la ration totale; MS]	
Foin, fourrage sec	3
Fauche fraîche, ensilage	7

B 3 Facteurs de transfert sol – plantes

Les incertitudes concernant l'établissement de **facteurs de transfert,** c'est-à-dire la relation sol-plante (ici le facteur t_{total} tiré de l'équation (4)) sont très grandes. Généralement, les modèles ne sont pas linéaires: la variable explicative (ici la teneur totale dans le sol) n'est pas une valeur fixe en raison du grand manque d'homogénéité et est en plus influencée la plupart du temps par d'autres paramètres.

Les facteurs de transfert sont difficilement évaluables, notamment pour les teneurs élevées en polluants dans le sol (supérieures au seuil d'investigation).
Le système expert simplifié du manuel et les tableurs en découlant contiennent le facteur de transfert t_{total} au sein du facteur mobilité et du facteur espèce végétale.
Dans le cas du plomb, aucun des deux facteurs n'est intégré dans le tableur en découlant. Le transfert sol – plante n'est par conséquent pas pris en compte et n'est pas non plus intégré dans les calculs suivants pour le plomb.
En revanche, dans le cas du cuivre, des facteurs mobilité très différents, variant fortement en fonction des paramètres du sol (valeur pH, teneur en humus et teneur en argile), sont intégrés dans le tableur du système expert simplifié. Après vérification de la littérature actuelle, les relations entre la propriété du sol et la disponibilité du cuivre pour les plantes sont difficilement prévisibles. Il y a certes des tendances montrant que des valeurs pH, des teneurs en humus et des teneurs en argile élevées ont comme conséquence une force de liaison relativement élevée entre les métaux lourds; l'interaction des différents facteurs n'est toutefois pas entièrement comprise et quelques études fournissent en partie aussi des résultats contradictoires.
Pour ne pas fixer une précision trop élevée pour toutes les autres incertitudes et simplifications de l'évaluation de la menace, les différentes caractéristiques du sol (pH, teneur en humus, teneur en argile, etc.) n'ont pas été prises en considération dans le présent guide pour déterminer le facteur de transfert sol – plante. Au lieu de cela, l'ensemble du spectre est considéré selon différents facteurs de transfert et une valeur au sens d'un scénario catastrophe réaliste en est déduite.
Après vérification de la littérature actuelle, aucune meilleure base n'a pu être trouvée que celle qui a aussi été utilisée pour l'établissement des seuils d'investigation et des valeurs d'assainissement (Hämmann & Gupta, 1997). Les facteurs de transfert pour les différents métaux lourds y ont été déterminés au moyen d'une analyse de données qualitatives ou d'une analyse de régression d'importants volumes de données. L'Ill. 19 montre la relation sol-plante pour le cuivre.



Ill. 19 Relation sol-plantes pour le cuivre tirée du document "Etablissement de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement pour les polluants inorganiques dans les sols" (Hämmann & Gupta, 1997).

Avec l'équation (4)

$$t_{\text{total}} = \frac{C_{\text{Plante fourragère}}}{C_{\text{Sol}}}$$

et

$$C_{\text{Plante fourragère}} = a\, C_{Sol} + b \text{ (déduit de l'Ill. 19)} \quad (5)$$

il en découle le facteur de transfert t_{total}

$$t_{\text{total}} = a + \frac{b}{C_{Sol}} \quad (6)$$

Sur la base de l'analyse qualitative des données de Hämmann & Gupta (1997), on pose a = 0.08 et b = 12 mg/kg MS pour un transfert maximal de cuivre (voir l'Ill. 19). Pour simplification et notamment parce que l'ordonnée à l'origine b pour des teneurs totales plus élevées dans le sol est négligeable, b est fixé à zéro, d'où il résulte un transfert maximal pour:

$t_{\text{total,Cu}} = a = 0.08$

B 4 Critères d'évaluation

Dans le manuel, l'évaluation de la pollution "est axée sur les teneurs maximales admissibles fixées par la législation et les seuils reconnus scientifiquement ainsi que par des études toxicologiques" (Mailänder & Hämmann, 2005). A cette fin, les teneurs maximales dans les aliments pour animaux selon l'OSALA et l'OLALA sont utilisées dans le système expert. Cela vaut en premier lieu pour la *production et la mise en circulation* des aliments pour animaux. Des produits issus de la production primaire qui sont uniquement utilisés *pour les propres besoins*, sont en revanche soumis à l'Ordonnance du 23 novembre 2005 sur la production primaire (OPPr; RS 916.020) et ne sont ainsi pas soumis à la législation sur les aliments pour animaux selon l'OSALA et l'OLALA. Selon l'art. 4, al. 1 de l'OPPr, les exploitations actives dans la production primaire doivent tout mettre en œuvre pour garantir la sécurité des denrées alimentaires et des aliments pour animaux.
Dans le cas de la pâture, aucun aliment pour animaux n'est mis en circulation ; dans le cas de la fauche, cela ne peut par contre pas être exclu.
Pour un examen détaillé, les valeurs-seuils, qui se rapportent au fourrage total consommé par un animal de rente, peuvent aussi être utilisées selon le manuel (voir l'annexe 4 du manuel).
Pour rester conforme au manuel existant et au système expert, les teneurs maximales pour le fourrage vert selon l'Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux sont aussi utilisées pour les calculs ci-après.

Annexe C Bases de calcul - pâture

C 1 Concept général

Pour l'analyse de la pollution lors de la pâture, l'aliment complet de l'animal de rente est pris en considération. Celui-ci se compose d'une part de "pâture" polluée et d'une part de fourrage non pollué, désigné par "fourrage d'étable". La pollution totale du fourrage est donc:

$$C_{\text{Aliment complet,pâtures}} = g_{Pâture} C_{Pâture} + g_{Etable} C_{Etable} \quad (7)$$

avec
- $g_{Pâture}$ Part de la pâture polluée par rapport à la ration totale
- g_{Etable} Part du fourrage d'étable par rapport à la ration totale = 1-$g_{Pâture}$
- $C_{Pâture}$ Concentration de polluants de la pâture [mg/kg MS]
- C_{Etable} Concentration de polluants du fourrage d'étable [mg/kg MS]

Pollution du fourrage d'étable

Avec l'équation (2), la pollution de n'importe quel fourrage est prise en considération. En admettant l'hypothèse selon laquelle le fourrage d'étable provient d'une surface non polluée et ne présente aucune contamination avec du sol pollué, il en découle:

$$C_{\text{Etable}} = 0 \quad (8)$$

Pollution de la pâture

La pollution de la pâture provient, d'une part, de l'ingestion orale directe par l'animal de rente et, d'autre part, de la pollution de la plante fourragère même, ici l'herbe de pâturage. L'ingestion orale directe $vo_{Animal\ de\ rente}$ peut varier en fonction du type d'animal de rente.

$$C_{\text{Pâture}} = vo_{\text{Animal de rente}}\, C_{\text{Sol,pâturage}} + C_{\text{Herbe de pâturage}} \quad (9)$$

avec
- $vo_{Animal\ de\ rente}$ Part d'ingestion orale directe par le sol en lien avec l'animal de rente
- $C_{Sol,pâturage}$ Concentration de polluants du sol de la surface de pâturage utilisée [mg/kg MS sol]
- $C_{Herbe\ de\ pâturage}$ Concentration de polluants de l'herbe de pâturage [mg/kg MS]

Cette hypothèse prend en considération une pollution moyenne du fourrage total. Il va de soi qu'il faut partir du principe que, pendant la période de pâture, de grandes pollutions à court terme du fourrage ingéré peuvent survenir, dépassant certains jours les teneurs maximales reconnues ou les valeurs-seuils pour le fourrage. D'autres jours, le fourrage ne sera par contre que légèrement pollué en fonction du site de pâture de l'animal. Les teneurs maximales pour le fourrage (p. ex. celles de l'Ordonnance sur le Livre des aliments pour animaux OLALA) sont prévues sur une ingestion de la substance à long terme, qui doivent limiter les risques pour les conséquences néfastes à un minimum. Par conséquent, l'observation d'une pollution moyenne du fourrage total semble légitime. Des explications supplémentaires concernant les toxicités chroniques et aiguës figurent dans l'Annexe E .

Pollution totale dans les pâtures

L'équation (7) donne donc:

$$C_{\text{Aliment complet,pâtures}} = g_{Pâture}\, C_{\text{Sol,pâturage}}\,(\text{vo}+t_{total}(1\text{-vo})) \quad (10)$$

C 2 Analyse de la menace – intégration des facteurs de réduction

Les facteurs de réduction, la brève durée d'utilisation et la pollution sur de petites surfaces, ont des conséquences directes sur la pollution du fourrage total.

Facteur de réduction "durée d'utilisation courte"

La pollution de la ration totale dépend principalement de la durée d'utilisation, c'est-à-dire combien de temps les animaux de rente sont exposés à la menace d'une pâture polluée.
Au moyen de la durée d'utilisation, la grandeur de la pâture polluée par rapport à la ration totale peut être estimée. Si on considère le fourrage total, cette part correspond à la part des jours de pâture par an. Etant donné que ce chiffre n'est pas toujours connu précisément et peut varier d'année en année, la durée potentielle de végétation est utilisée comme ordre de grandeur pour la durée d'utilisation (voir le Tab. 2).
La durée d'utilisation est finalement utilisée afin de déterminer la part de la pâture polluée par rapport à la ration totale:

$$g_{\text{Pâture}} = \frac{n}{365} \quad (11)$$

avec
- n Durée de végétation (jours par an)

Facteur de réduction "pollution sur de petites surfaces"

En plus des durées d'utilisation courtes, ce ne sont souvent que de petites surfaces qui sont polluées au sein de la surface d'utilisation. La concentration de polluants dans le sol $C_{Sol,pâture}$ n'est pas partout répartie uniformément sur la surface de pâture utilisée, ce qui a des répercussions directes sur la concentration de la pâture dans la formule (9). Exprimé simplement, la probabilité que l'animal de rente ingère de la nourriture provenant de surfaces polluées correspond à la part de la surface polluée par rapport à la surface totale utilisée.
La surface indiquant des teneurs en métaux lourds dans le sol situées entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement est considérée comme surface polluée. Cette information peut être tirée du compte rendu d'investigations techniques. La taille précise de la surface de pâture utilisée doit être connue. C'est sur cette base que la part de la surface polluée est finalement déterminée par rapport à la surface d'utilisation totale:

$$g_{\text{Surf pâture polluée}} = \frac{S_{Polluée}}{S_{utiliséee}} \qquad (12)$$

avec $g_{Surf\ pâture\ polluée}$ Part de la pâture polluée par rapport à la surface d'utilisation totale
$S_{Polluée}$ Surface utilisée [ha] dans le domaine contrôlé avec des teneurs en métaux lourds dans le sol situées entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement (200 – 2000 ppm pour le plomb ou 150 – 1000ppm pour le cuivre)
$S_{Utilisée}$ Pâture totale utilisée [ha]

La concentration en métaux lourds de la surface de pâturage utilisée comporte ainsi:

$$C_{Sol,pâturage} = g_{Surf\ pâture\ polluée}\ C_{Sol,pollué} + \left(1 - g_{Surf\ pâture\ polluée}\right) * C_{Sol,TM} \qquad (13)$$

avec $C_{Sol,pollué}$ Concentration en métaux lourds de la pâture *polluée* au sein de la pâture totale utilisée [mg/kg MS sol]
$C_{Sol,TM}$ Pollution de fond du sol, valeur U dans les Directives sur les matériaux d'excavation (Pb: 50 ppm; Cu: 40 ppm)

Pollution totale dans les pâtures avec intégration des facteurs de réduction

L'équation (10) donne donc:

$$C_{Aliment\ complet,pâtures} = \frac{n}{365}\ (g_{Surf\ pâture\ polluée}\ C_{Sol,pollué} + (1 - g_{Surf\ pâture\ polluée})\ C_{Sol,TM})\ (vo + t_{total}(1 - vo)) \qquad (14)$$

C 3 Evaluation de la menace

La pollution totale du fourrage déterminée dans les pâtures doit être comparée à un critère d'évaluation. Cela signifie que la pollution totale de la pâture ne doit pas dépasser une certaine teneur maximale. A cette fin, les teneurs maximales pour le fourrage en vertu de l'Ordonnance actuelle sur le Livre des aliments pour animaux sont utilisées pour les calculs suivants (OLALA RS 916.307.1, 2011). Le manuel existant recommande celles-ci et elles ont aussi été utilisées dans le document "Etablissement de seuils d'investigation et de valeurs d'assainissement pour les polluants inorganiques dans les sols".
L'annexe 10 de l'OLALA renvoie à la Directive 2002/32/CE pour les teneurs maximales pour les substances indésirables dans les aliments pour animaux. L'actuel Règlement (UE) N° 744/2012 du 16 août 2012 qui a fixé de nouvelles teneurs maximales, entre autres pour le plomb, doit être consulté.

Le Tab. 9 présente une vue d'ensemble des teneurs maximales autorisées de plomb et de cuivre dans les aliments pour animaux, qui ont été utilisées comme critères d'évaluation dans les calculs suivants.

Tab. 9 Teneurs maximales dans les aliments pour animaux (fourrages) selon l'OLALA (état 2011). Les valeurs de l'OLALA ont été converties en 100% de matière sèche et arrondies au chiffre entier le plus proche.

	Plomb	Cuivre
Bovins	35 mg/kg MS	40 mg/kg MS
Moutons	35 mg/kg MS	17 mg/kg MS

C 4 Evaluation de la menace avec intégration des facteurs de réduction

Niveau 1 - calcul

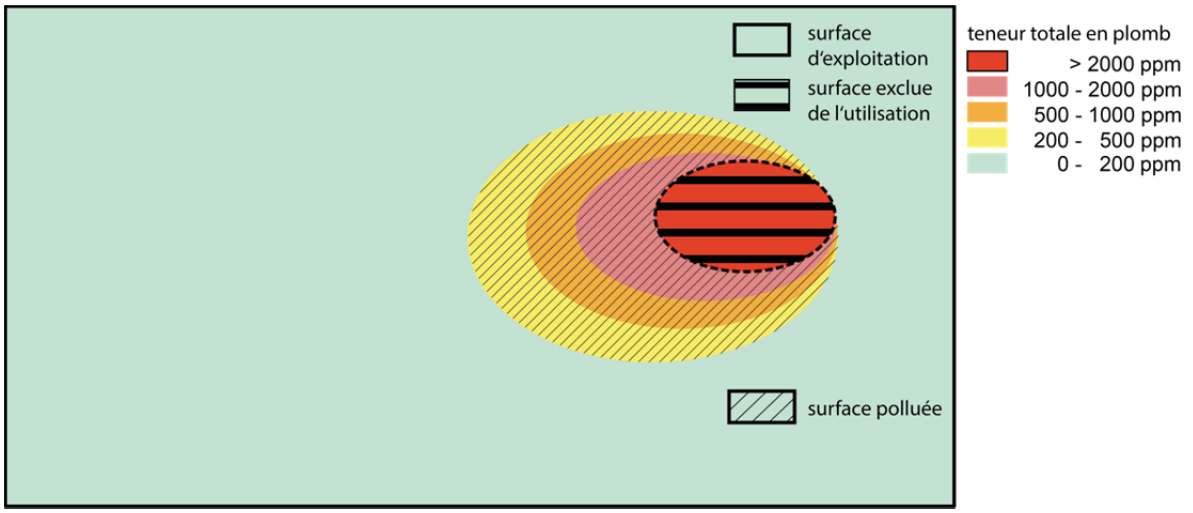
Au niveau 1, une estimation grossière du potentiel de menace est effectuée. La question à laquelle il y a lieu de répondre est la suivante:

En fonction de la durée d'utilisation *n*:
Jusqu'à quelle part maximale de la surface polluée par rapport à la surface d'utilisation une menace concrète peut-elle encore être exclue?

Après la transformation de l'équation (14), il en résulte la part maximale tolérable de la surface polluée par rapport à la surface totale d'utilisation:

$$g_{\text{Surf pâture polluée,max}} = \frac{\frac{C_{Aliment\ complet,pâtures,max}}{\frac{n}{365}(\text{vo}+t_{total}(1\text{-vo}))} - C_{Sol,TM}}{C_{Sol,pollué} - C_{Sol,TM}} \qquad (15)$$

La surface avec des teneurs en métaux lourds dans le sol situées entre le seuil d'investigation et la valeur d'assainissement (Ill. 20) est considérée comme surface de pâture polluée.
La difficulté réside dans le fait que la teneur en substances nocives du sol pollué $C_{Sol,pollué}$ est difficilement quantifiable. D'une part, le sol n'est pas pollué partout de la même façon. D'autre part, une pâture égale de la surface ne peut pas être admise, car les animaux peuvent avoir des préférences pour certains secteurs des pâturages, suivre chaque jour un parcours similaire, etc.



Ill. 20 Schéma d'une surface de pâturage pour l'évaluation de la menace au niveau 1. Au niveau 1, il est évalué si la surface de pâture polluée (en hachuré) ne dépasse pas la part maximale tolérable par rapport à l'ensemble de la surface de pâture.

En partant du principe qu'une utilisation conforme au site doit être possible avec cette méthode, un scénario catastrophe réaliste est par conséquent pris en considération (Tab. 10).
Les graphes des fonctions de l'Ill. 6 et l'Ill. 7 sont finalement le résultat de l'équation (15) avec les hypothèses du Tab. 10.

Tab. 10 Hypothèses du scénario catastrophe pour calculer la part tolérable maximale de la surface polluée par rapport à la surface d'utilisation totale (niveau 1).

		Plomb	Cuivre
vo	Facteur d'ingestion max. pour les moutons dans des conditions humides (Mouton = animal de rente le plus sensible = "animal indicateur")	0.3	
$\mathbf{t_{total}}$	Facteur de transfert sol–plante	0	0.08
$\mathbf{C_{Sol,pollué}}$	Concentration moyenne de métaux lourds dans le sol de la surface polluée du domaine contrôlé (scénario catastrophe réaliste)	1000 ppm	500 ppm
$\mathbf{C_{Sol,\ TM}}$	Pollution de fond du sol à l'extérieur du domaine d'investigation et d'assainissement, valeur U	50 ppm	40 ppm
$\mathbf{C_{Aliment\ complet,\ pâtures,max}}$	Critère d'évaluation: teneur maximale selon l'OLALA	35 mg/kg MS	17 mg/kg MS

Niveau 2 - calcul

Le niveau 2 effectue une estimation détaillée du potentiel de la menace, avec pour objectif de déterminer une valeur cible d'assainissement pour les surfaces polluées.
La part de la surface totale polluée ≥ seuil d'investigation par rapport à la surface d'exploitation totale est connue. On ne connaît toutefois pas quels secteurs de la surface d'exploitation doivent être assainis pour permettre à nouveau une utilisation normale du site.
Au niveau 2, il se pose donc la question suivante:

En lien avec la durée de végétation *n* et la part de la surface polluée totale ≥ au seuil d'investigation par rapport à la surface d'utilisation après un assainissement:
Jusqu'à quelle teneur maximale en métaux lourds (= valeur cible d'assainissement) dans le sol les animaux peuvent-ils encore avoir accès à la surface?

$$C_{Sol,max} = \frac{\frac{C_{Aliment\ complet,pâture,max}}{\frac{n}{365}\,(vo+t_{tot}(1-vo))} - \left(1 - g_{Surf\ pâture\ polluée}\right) C_{Sol,TM}}{g_{Surf\ pâture\ polluée}} \quad (16)$$

Pour l'estimation d'un scénario catastrophe réaliste, les hypothèses selon le Tab. 11 ont été remplies. Pour l'observation détaillée au niveau 2, on différencie maintenant une utilisation avec des moutons d'une utilisation avec des bovins. Les facteurs d'ingestion sont extraits du manuel. Au lieu du facteur d'ingestion maximale possible, les valeurs supérieures de la fourchette pour des conditions sèches ont été choisies à cette place.

Tab. 11 Hypothèses pour le calcul de la teneur tolérable en métaux lourds maximale dans le sol (niveau 2).

		Plomb	Cuivre
vo	Facteur d'ingestion mouton Facteur d'ingestion bovin	0.15 0.05	
t_{total}	Facteur de transfert sol–plante	0	0.08
$C_{Aliment\ complet,\ pâtures,max}$	Critère d'évaluation: teneur maximale selon l'OLALA	35 mg/kg MS	Mouton: 17 mg/kg MS Bovin 40 mg/kg MS
$C_{Sol,TM}$	Pollution de fond du sol à l'extérieur du domaine d'investigation et d'assainissement, valeur U	50 ppm	40 ppm

La teneur en métaux lourds maximale déterminée dans le sol est à la fois la limite d'utilisation et la valeur cible d'assainissement. Finalement, l'équation (16) et les hypothèses du Tab. 11 débouchent sur les graphes des fonctions de l'Ill. 8 et de l'Ill. 9.

Annexe D Bases de calcul - fauche

Dans le cas de la fauche, seule la pollution géographique d'une surface d'utilisation pouvant permettre de réduire le potentiel de la menace est d'importance. Le facteur de réduction temporel est laissé de côté, car il ne peut ni être estimé, ni être vérifié.

La question qui se pose est la suivante:

Jusqu'à quelle part maximale de la surface polluée par rapport à la surface de fauche une menace concrète peut-elle encore être exclue et jusqu'à quand une utilisation usuelle du site est-elle possible?

Le calcul est en principe effectué de manière analogue à l'équation (15). Au lieu de la part maximale d'une surface de pâture polluée par rapport à la surface d'utilisation, la part maximale d'une surface de fauche polluée $g_{Surf\ fauche\ polluée,max}$ est déterminée. La durée d'utilisation *n* est laissée de côté.

$$g_{Surf\ fauche,max} = \frac{\frac{C_{Fourrage\ vert,max}}{vo + t_{total}(1 - vo)} - C_{Sol,TM}}{C_{Sol,pollué} - C_{Sol,TM}} \quad (17)$$

Les hypothèses suivantes d'un scénario catastrophe réaliste ont été utilisées:

Tab. 12 Hypothèses pour le calcul de la part maximale de la surface polluée par rapport à la surface d'utilisation lors de la fauche.

		Plomb	**Cuivre**
vo	Facteur de contamination du produit de la fauche	Foin / fourrage sec : 0.03 Fauche fraîche / ensilage: 0.07	
$\mathbf{t_{total}}$	Facteur de transfert sol–plante	0	0.08
$\mathbf{C_{Fourrage\ vert,max}}$	Critère d'évaluation: teneur maximale selon l'OLALA	35 mg/kg MS	Moutons: 17 mg/kg MS Bovins: 40 mg/kg MS
$\mathbf{C_{Sol,pollué}}$	Concentration moyenne de métaux lourds dans le sol de la surface polluée du domaine contrôlé (scénario catastrophe réaliste)	1000 ppm	500 ppm
$\mathbf{C_{Sol,TM}}$	Pollution de fond du sol à l'extérieur du domaine d'investigation et d'assainissement, valeur U	50 ppm	40 ppm

Il en résulte les parts maximales tolérables de la surface polluée dans le domaine contrôlé par rapport à la surface de fauche totale, pour lesquelles une menace concrète des animaux de rente peut être exclue:

Tab. 13 Parts maximales tolérables des surfaces du domaine contrôlé par rapport à la surface de fauche totale. Pour une utilisation pratique, les résultats ont été légèrement arrondis.

	Foin / fourrage sec	**Fauche fraîche / ensilage**
Moutons	Plomb: > 100% Cuivre: 25.6% ~ 25%	Plomb: 47.4% ~ 50% Cuivre: 16.9% ~ 15%
Bovins	Plomb: > 100% Cuivre: 72.1% ~ 70%	Plomb: 47.4% ~ 50% Cuivre: 51.5% ~ 50%

Annexe E Appréciation critique des résultats

Pour évaluer la menace dans les pâtures, la pollution du fourrage total d'un animal de rente est considérée avec le modèle représenté ici et comparée avec les teneurs maximales dans les aliments pour animaux selon l'OLALA. Ces teneurs maximales règlent l'importation, la mise en circulation et la production des aliments pour animaux de rente et de compagnie (art.1, al. 1). Elles ne s'appliquent toutefois pas "aux matières premières produites dans une exploitation agricole et utilisées par cette dernière" (tiré d'une décision du 16 juillet 2010 du Ministère public du canton de Thurgovie, Urteil 136 IV 201). Malgré cela, ces valeurs réglementaires pour une évaluation de la menace sont une base possible et servent de valeurs de référence. Etant donné que ces valeurs sont aussi utilisées dans le manuel et le système expert existants pour l'évaluation de la menace, elles ont également été employées pour le système expert élargi.
Les teneurs maximales de l'OLALA, c'est-à-dire les concentrations maximales admissibles dans un aliment pour animaux, servent à minimiser les effets toxiques ou dommageables aussi si l'aliment a été utilisé comme fourrage sur une longue période.
Une pâture sur des sites pollués implique naturellement que les animaux ingèrent pendant quelques jours, voire quelques semaines, de manière ininterrompue du fourrage plus pollué que pendant les autres jours de l'année. Dans le modèle présenté ici, la pollution totale du fourrage est toutefois observée sur toute une année, donc une concentration moyenne pondérée. L'ingestion en métaux lourds avec la pâture a toutefois probablement nettement dépassé les teneurs maximales admissibles selon l'OLALA lors d'un petit nombre de jours. Dans le pire cas imaginable, les animaux pâturent sur des surfaces dont la pollution est tout juste inférieure à la valeur d'assainissement. Par conséquent, la valeur est de tout juste 2000 ppm pour le plomb et de 1000 ppm pour le cuivre. C'est pourquoi l'ingestion de métaux lourds doit être évaluée de manière critique dans un scénario catastrophe en ce qui concerne une toxicité aiguë ou chronique des animaux. Le Tab. 14 donne une vue d'ensemble d'un tel scénario.
Une toxicité aiguë doit toutefois être exclue dans tous les cas. Etant donné que les animaux peuvent ingérer du fourrage plus pollué pendant plusieurs jours, éventuellement pendant plusieurs semaines, des valeurs qui peuvent mener à une toxicité chronique doivent aussi être prises en considération pour le scénario catastrophe réaliste (voir le
Tab. 15
Tab. 15).

Tab. 14 Scénario catastrophe dans les pâtures. Ce cas se produit si les animaux ont accès à des surfaces dont les teneurs en métaux lourds sont juste inférieures à la valeur d'assainissement.

	Mouton (75 kg body weight [bw])	**Bovin (600 kg body weight [bw])**
Teneur maximale en polluants du sol	2000 mg plomb/kg sol MS 1000 mg cuivre/kg sol MS	
Ingestion du sol	0.2 kg (facteur d'ingestion = 0.15, besoins nutritifs par jour = 1.3 kg[3])	0.6 kg (facteur d'ingestion = 0.05, besoins nutritifs par jour = 12 kg[4])
Teneur en métaux lourds dans le fourrage	Plomb: 400 mg/kg MS Cuivre: 200 mg/kg MS	Plomb: 1200 mg/kg MS Cuivre: 600 mg/kg MS

[3] Besoins nutritifs d'un mouton (70 – 75 kg) PV: http://www.agroscope.admin.ch/publikationen/einzelpublikation/index.html?pubdownload=NHzLpZeg7t,lnp6I0NTU042l2Z6ln1acy4Zn4Z2rZpnG3s2Rodeln6h1dX92hIONn,aknp6V2tTljKbXoKimjZubmJaniKfo
[4] Besoins nutritifs d'une vache-mère de 600 à 700 kg PV: http://mutterkuh.ch/de/produzenten-service/fachinfos/futterbedarf-einer-mutterkuh/

Ingestion de métaux lourds dans les animaux par kg de poids corporel et par jour	Plomb: 5 mg/kg bw/vo Cuivre: 2.5 mg/kg bw/vo	Plomb: 2 mg/kg bw/vo Cuivre: 1 mg/kg bw/vo

Tab. 15 Valeurs tirées de la littérature pour la toxicité aiguë ou chronique lors de l'ingestion de plomb.

	Toxicité aiguë		**Toxicité chronique**	
	Mouton	**Bovin**	**Mouton**	**Bovin**
Plomb				
Institut für Veterinärpharmakologie und –toxikologie (2014)	**400** mg/kg bw dose simple létale minimale (par voie orale)	**600 – 800** mg/kg bw dose simple létale minimale (par voie orale)	50 mg/kg MS dans le fourrage → **0.7** mg/kg bw/vo dose toxique minimale lors d'ingestion répétée sur plusieurs mois sous la forme d'acétate de plomb	50 mg/kg MS dans le fourrage → **1** mg/kg bw/vo dose toxique minimale lors d'ingestion répétée sur plusieurs mois sous la forme d'acétate de plomb
Liu, Z.P. (2003)			**4.4** mg/kg bw/vo	
Allcroft, R. & Blaxter, K.L. (1950)	**600 – 800** mg/kg bw dose simple létale	**200 – 400** mg/kg bw (veaux), dose simple létale	50 ppm dans le fourrage → **0.7** mg/kg bw /vo	50 ppm dans le fourrage → **1** mg/kg bw /vo
Cuivre				
Perrin, D.J. et al. (1990)				8 mg/kg bw

Une autre étude est arrivée à la conclusion que des moutons devraient tolérer 1 mg/kg bw/jour ou une dose de 50ppm sur une demi-année (Botts, 1977).
Concernant les valeurs pour la toxicité aiguë et chronique (
Tab. 15
Tab. 15), il faut avant tout tenir compte du fait que le plomb a généralement été administré non pas sous la forme de sol pollué, mais directement sous la forme de sels de plomb. Sous cette forme, il est vraisemblablement plus soluble et peut par conséquent être résorbé relativement facilement dans le corps.
La résorption du plomb qui adhère aux particules du sol et qui sont absorbées via le sol semble toutefois avoir un comportement totalement différent.
Une étude de Smith, K.M. et al. (2009b) a porté sur l'ingestion de plomb et d'autres métaux lourds par des moutons pâturant sur des surfaces fortement contaminées et les concentrations de métaux lourds dans le sang et la laine. Les moutons ont passé au moins 4 semaines sur la surface. La teneur en plomb dans le sang est considérée comme un bon indicateur pour évaluer l'effet toxique pour les moutons. Malgré une ingestion de plomb quotidienne allant jusqu'à 723 mg de plomb par jour (environ **9.5 mg Pb/kg bw**), des écarts par rapport aux concentrations normales dans le sang n'étaient visibles que pour un seul mouton. Allcroft, R. & Blaxter, K.L. (1950) ont constaté qu'une dose quotidienne de **5 mg/kg bw** pendant au moins une année n'a pas occasionné de symptômes de toxicité chez les brebis et bovins non gestants. Une dose de **8 mg/kg bw** pourrait être tolérée sur quelques mois. Le plomb est ingéré par les animaux de pâture presque exclusivement par le biais du sol, par voie orale directe. Braun, U. et al. (1997) ont observé des maladies graves sur des veaux qui avaient passé plu-

sieurs jours dans la distance du but d'un stand de tir. Le sol contenait environ 3000 mg plomb/kg et l'herbage environ 4000 mg plomb/kg MS.
Smith, K.M. et al. (2009b) ont démontré une très grande corrélation entre la teneur en plomb absorbée dans le fourrage et la teneur en plomb dans les excréments des animaux. Ils admettent que la résorption de plomb dans le corps dépend du genre d'aliment ingéré. Le plomb absorbé par le biais de particules du sol semble passer rapidement dans le système digestif sans que le corps n'absorbe de grandes quantités de plomb.

Les valeurs en cas d'ingestion de plomb dans un scénario catastrophe (Tab. 14) sont largement inférieures à celles d'une toxicité aiguë. En cas de long séjour dans des zones hautement polluées et une ingestion continue de doses importantes de métaux lourds, une toxicité chronique selon les valeurs tirées du
Tab. 15
Tab. 15 ne serait pas exclue. Toutefois, une telle ingestion élevée de métaux lourds sur de longues périodes est très improbable. En même temps, sur la base des études mentionnées ci-dessus qui ont examiné l'ingestion de plomb dans des conditions de pâture (ingestion de plomb avec le sol), il faut partir du principe que dans des conditions catastrophes absolues, aucune toxicité chronique ne doit être attendue. Avec les hypothèses d'évaluation de la menace qui ont été utilisées dans le présent guide, des effets toxicologiques sur des animaux peuvent par conséquent être exclus.