

Estimation et réduction du lessivage des nitrates dans les cultures maraîchères

Oliver Zemek¹, Reto Neuweiler², Walter Richner¹, Frank Liebisch¹ et Ernst Spiess¹

¹Agroscope, 8046 Zurich-Reckenholz, Suisse

²Agroscope, 8820 Wädenswil, Suisse

Renseignements: Ernst Spiess, e-mail: ernst.spiess@agroscope.admin.ch

<https://doi.org/10.34776/afs11-76f> Date de publication: 11 avril 2020



Mesure du lessivage des nitrates dans les cultures maraîchères à l'aide de lysimètres. (Photo: Ernst Spiess, Agroscope)

Résumé

Bien que le lessivage d'azote (N) soit plus important dans les cultures maraîchères de plein champ que dans les grandes cultures ou les herbages, on ne sait pas quelles sont les cultures maraîchères qui contribuent plus particulièrement au lessivage des nitrates. C'est pourquoi on a tenté de classer le potentiel de lixiviation de 40 espèces de légumes sur la base des valeurs répertoriées dans la littérature concernant les besoins en engrais azoté, les quantités de N dans les résidus de récolte et la profondeur d'enracinement des cultures. Si les espèces de choux affichent un potentiel élevé, on estime que le risque de lessivage

de la plupart des espèces de légumes à feuilles est faible. Le lessivage pourrait être réduit notamment en contrôlant l'irrigation, en déterminant de manière plus précise les besoins en engrais azoté, en intégrant davantage de cultures intermédiaires dans la rotation et en optimisant la gestion des résidus de culture. En matière de mesures d'exploitation, il existe un besoin considérable de recherche, notamment sur le plan de la fertilisation et du travail du sol.

Key words: crop residues, fertilisation, nitrate leaching, rooting depth, vegetables.

Introduction

Situation initiale

Le lessivage des nitrates dans les eaux souterraines nuit à la qualité de l'eau potable (Di et Cameron 2002). Dans plusieurs captages de sources et stations de pompage des eaux souterraines en Suisse, on mesure des concentrations de nitrates (NO_3^-) (OFEV 2019) qui dépassent l'exigence chiffrée de $25 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ pour les eaux souterraines utilisées ou destinées à l'eau potable (Ordonnance sur la protection des eaux de 1998) ou même la norme relative aux teneurs chimiques de l'eau potable fixée à $40 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ (OPBD 2016), seuil au-delà duquel l'eau est considérée comme impropre à la consommation humaine. Cependant, le nitrate lessivé peut également pénétrer dans le Rhin et donc dans la mer du Nord par le biais des eaux souterraines et des cours d'eau, où il contribue à l'eutrophisation des eaux littorales, car l'azote (N) y est souvent un facteur limitant de la croissance des algues (Kivi *et al.* 1993).

Objectif

Étant donné que la quantité de nitrates lessivés est plus importante dans les cultures maraîchères de plein champ que dans les grandes cultures ou les herbages

(Di et Cameron 2002), une étude basée sur la littérature a tenté de classer les espèces de légumes en fonction de leur potentiel de lessivage des nitrates et d'évaluer les mesures d'exploitation visant à réduire celui-ci. Les principaux résultats de ce travail (Zemek *et al.* 2020) sont résumés ci-après.

Méthode

L'étude bibliographique a porté sur toutes les espèces de légumes cultivées en plein champ en Suisse, sur une surface d'au moins 5 ha en moyenne des années 2012–2016. Des données quantitatives sur (i) la quantité d'azote lessivé, (ii) les besoins en engrais azoté, (iii) les quantités d'azote dans les résidus de récolte et (iv) la profondeur d'enracinement ont été compilées. Les trois derniers paramètres ont ensuite servi à estimer le potentiel de lixiviation des nitrates et à classer les espèces de légumes dans l'une des quatre classes prévues pour chaque paramètre. Chaque classe a reçu un nombre de points allant de 1 (faible) à 4 (très forte contribution au potentiel de lixiviation des nitrates). Quatre points ont été attribués pour une forte fertilisation en N, une quantité élevée de N dans les résidus de récolte ou une faible profondeur d'enracinement. La somme des points des trois para-

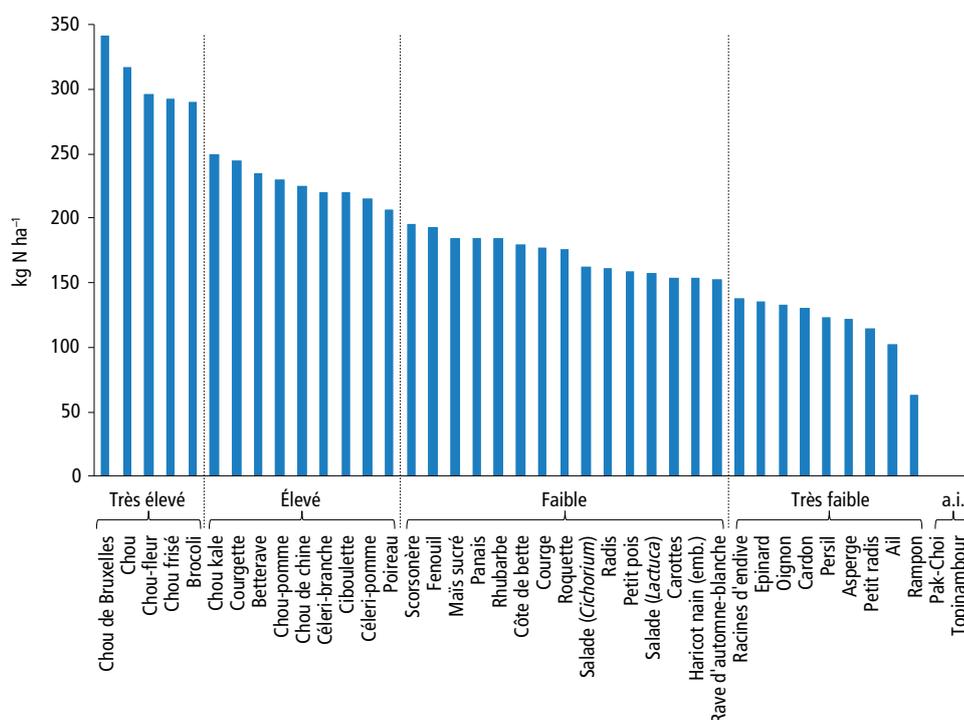


Figure 1 | Valeurs cibles N_{\min} des espèces de légumes pour la détermination des besoins en engrais N dans les cultures maraîchères de plein champ selon la méthode N_{\min} (valeur moyenne de BMLFUW 2008, Röber et Schacht 2008 et Feller *et al.* 2011; répartition en quatre classes: très élevé ($> 250 \text{ kg N ha}^{-1}$), élevé ($200\text{--}250 \text{ kg N ha}^{-1}$), faible ($150\text{--}200 \text{ kg N ha}^{-1}$) et très faible ($< 150 \text{ kg N ha}^{-1}$); a. i. = aucune indication dans la littérature).

mètres, qui est au minimum de 3 et au maximum de 12, donne alors le potentiel de lixiviation des nitrates pour une espèce de légumes.

Résultats

Potentiel de lessivage des nitrates

Quelle que soit la méthode utilisée (lysimètres, bougies poreuses, résines échangeuses d'anions, échantillons de sol N_{min} , modélisation), la littérature sur les pertes d'azote par lessivage indique un potentiel considérable de lixiviation des nitrates pour les cultures maraîchères de plein champ. Toutefois, les résultats publiés ne permettent pas, ou seulement dans une mesure limitée, de différencier le lessivage des nitrates selon les espèces de légumes, car les conditions d'essai telles que le sol et le climat, les mesures d'exploitation (par exemple, la fertilisation azotée) et les méthodes de mesure diffèrent beaucoup.

Le **besoin en engrais N** correspond à la différence entre la valeur cible de N_{min} et la teneur en N_{min} mesurée dans le sol avant le début de la culture. La valeur cible de N_{min}

représente l'apport en N_{min} permettant tout juste d'atteindre la plage de rendement maximum en moyenne de nombreux essais de fertilisation. Afin d'obtenir des rendements maximaux et d'éviter des pertes de qualité (par exemple, une coloration verte insuffisante des feuilles), une réserve minimale de N_{min} devrait être disponible à la profondeur d'enracinement jusqu'à la récolte, pour certaines cultures. En effet, une grande partie des légumes de plein champ sont déjà récoltés en pleine croissance végétative lorsque le besoin en N des cultures est encore élevé (Scharpf et Weier 1993). Par rapport aux légumes à feuilles (p. ex., la mâche et les épinards), les brassicacées (p. ex., les choux de Bruxelles, les choux) ont une valeur cible de N_{min} élevée (fig. 1).

Au cours de la récolte des cultures maraîchères de plein champ, des quantités considérables de **résidus de récolte** avec des quantités importantes de N peuvent s'accumuler sur la parcelle. En moyenne, 118 kg de N ha^{-1} restent sur la parcelle avec les résidus de récolte, la fourchette allant de 5 à 550 kg de N ha^{-1} (fig. 2). Les quantités d'azote dans les résidus de récolte sont élevées pour les choux comme les choux de Bruxelles ou les brocolis et les

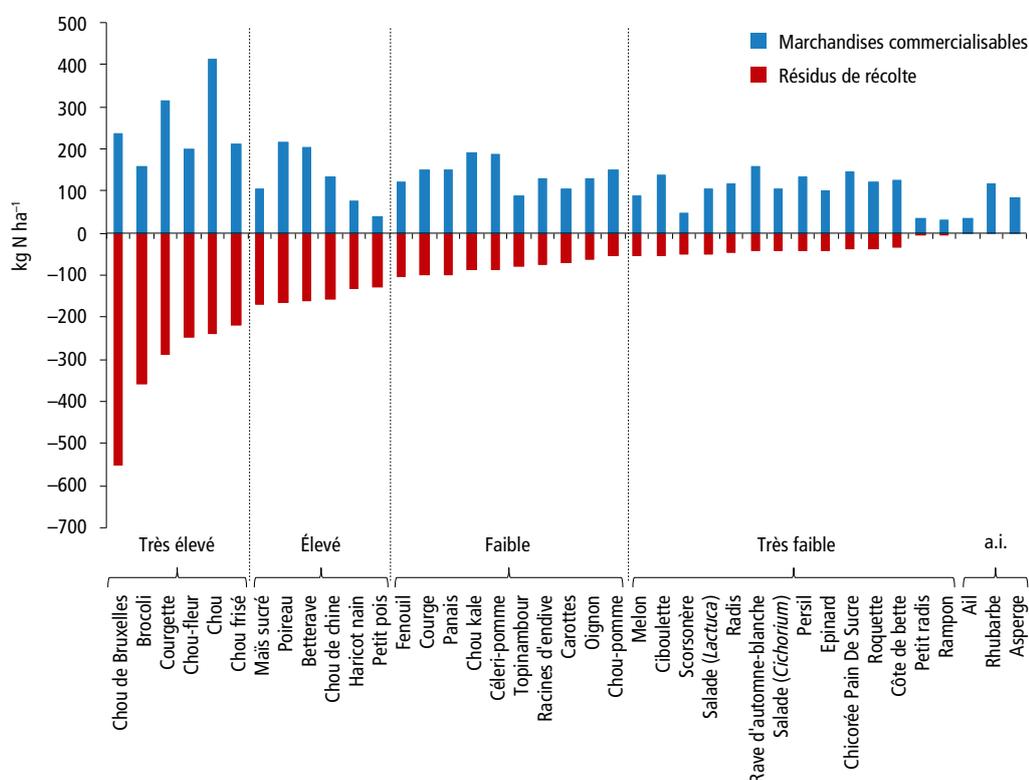


Figure 2 | Quantités moyennes de N dans les résidus de récolte aériens dans les cultures maraîchères de plein champ. Les espèces de légumes sont réparties en quatre classes: très élevé (> 200 kg N ha^{-1}), élevé (100–200 kg N ha^{-1}), faible (50–100 kg N ha^{-1}) et très faible (< 50 kg N ha^{-1}); a.i. = aucune indication dans la littérature). Les valeurs des marchandises commercialisables sont indiquées à titre de comparaison.

courgettes, et faibles pour les légumes à feuilles comme les radis ou le rampon.

La **profondeur d'enracinement** est importante car le nitrates des couches profondes du sol ne peut être absorbé que par les cultures à racines profondes, qui seules pourront donc l'empêcher d'être lessivé dans les eaux souterraines. Les quelques publications disponibles sur le sujet suggèrent qu'il existe de grandes différences dans la profondeur d'enracinement des espèces de légumes (fig. 3). Parmi les espèces à racines peu profondes, on trouve la laitue et le rampon. Les espèces de légumes telles que les carottes, les chicorées et les choux ont principalement des racines moyennes à profondes. Les profondeurs plus importantes ne sont atteintes que par des espèces de légumes moins fréquemment cultivées, comme les salsifis et les cultures pluriannuelles que sont l'asperge et la rhubarbe.

Un **potentiel élevé de lessivage des nitrates** (note: 10–12) a été relevé notamment pour les espèces de choux (par exemple chou-fleur, brocolis et chou de Bruxelles). Il est basé sur une fertilisation azotée élevée et les quantités

élevées de N dans les résidus de récolte. Dans le cas du chou (9 points), la grande profondeur d'enracinement soulignée dans la littérature contribue à la réduction du potentiel. En revanche, les espèces de légumes à feuilles (par exemple, les salades, les épinards et la roquette), bien qu'ils aient généralement une faible profondeur d'enracinement, présentent un potentiel faible (3–6) à moyen (7–9) en raison des besoins moindres en azote et de la plus petite quantité d'azote restant sur la parcelle avec les résidus de récolte.

Mesures visant à réduire les pertes de nitrates

L'évaluation des mesures d'exploitation en fonction de leur potentiel de réduction, de l'état des connaissances et de leur adéquation pratique a mis en avant quatre mesures particulièrement adaptées à la réduction du lessivage des nitrates:

Contrôle de l'irrigation: Une irrigation appropriée réduit le risque de lessivage (Vögeli Albisser et Prasuhn 2013) et assure un approvisionnement en eau qui permet la meilleure absorption possible des nutriments et donc une croissance optimale des plantes et une qualité éle-

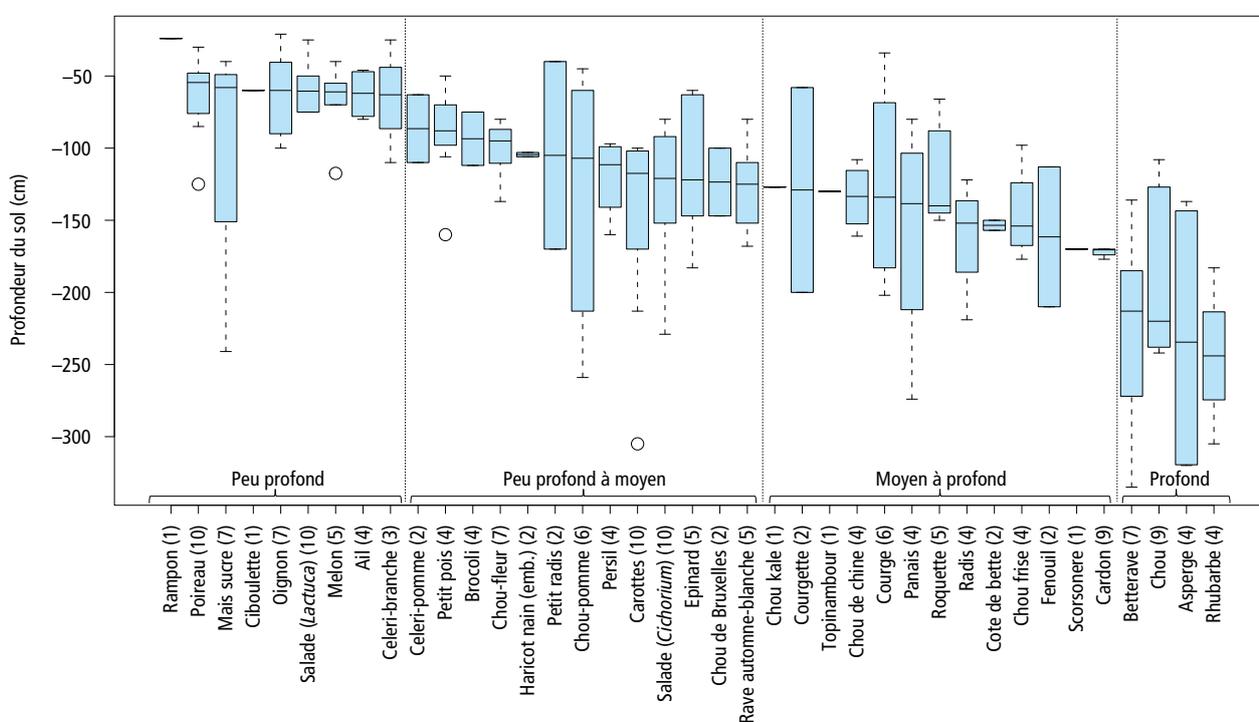


Figure 3 | Profondeur d'enracinement des espèces de légumes cultivées en plein champ, mesurée à la fin de la période de culture. Dans le graphique en boîte à moustaches, la boîte indique la zone dans laquelle se trouvent 50% des données et la médiane est indiquée par une ligne continue en gras dans la boîte. Dans la boîte et les moustaches en pointillés se trouvent 95% de toutes les valeurs. Les valeurs aberrantes sont représentées par des cercles. Les espèces de légumes sont réparties en quatre classes selon la médiane des valeurs mesurées: enracinement peu profond (< 50 cm), peu profond à moyen (50–100 cm), moyen à profond (100–150 cm) et profond (> 150 cm). Les chiffres entre parenthèses indiquent le nombre de valeurs mesurées.

vée des produits. Afin d'adapter l'irrigation des cultures maraîchères dont l'efficacité d'utilisation de l'eau est élevée, au stade de leur croissance, il est conseillé de contrôler l'apport en eau. Il existe principalement quatre méthodes différentes pour aider à la décision (Paschold *et al.* 2009; Marti et Keiser 2019): (i) le calcul du bilan hydrique climatique (par exemple, programmeur de Geisenheim), (ii) les modèles multicouches d'humidité du sol et d'évapotranspiration, (iii) les capteurs d'humidité du sol (par exemple, tensiomètres, FDR) et (iv) le monitoring continu par capteurs du peuplement végétal (par exemple, la température du peuplement).

Amélioration du calcul du besoin en engrais azoté:

Outre le choix des engrais et leur épandage, la détermination du besoin en engrais joue un rôle décisif dans la fertilisation. Il existe différentes approches pour le calcul. Parmi les méthodes prometteuses, on peut citer la méthode N_{\min} (Neuweiler et Krauss 2017), qui repose sur la mesure de la quantité de N_{\min} dans la couche de sol utilisable par les racines au début de la culture, et deux outils développés pour l'Allemagne: le système KNS de valeurs cibles de N_{\min} accompagnant les cultures (Feller *et al.* 2011) avec plusieurs analyses de sol N_{\min} pendant la période de culture et le programme informatique N-Expert (Fink et Scharpf 1993), qui simule la disponibilité de N sur la base des propriétés du sol, des données climatiques et des données d'exploitation.

Des rotations de cultures plus respectueuses de l'environnement grâce aux cultures dérobées:

Les cultures intermédiaires absorbent l'eau et l'azote du sol. Cela réduit la formation d'eau de drainage et l'eau de drainage résultante a une concentration en nitrates plus faible (Spiess *et al.* 2011). Par conséquent, moins de nitrates sont lessivés. Outre un grand nombre de cultures pures hivernantes et non hivernantes (par exemple, phacélie, seigle d'automne) et de mélanges, la repousse de certaines cultures d'automne dont les racines n'ont pas été endommagées par la récolte (par exemple, les épinards) peut également servir de couverture hivernale.

Optimisation de la gestion des résidus de récolte:

Jusqu'à présent, la majeure partie des résidus de récolte restaient sur la parcelle. À l'avenir, il faudra envisager de les évacuer et de les recycler dans des installations de méthanisation et de compostage, notamment dans les cultures d'espèces végétales dont les résidus végétaux ont une forte teneur en azote, ainsi que pour la dernière phase de la période de végétation. Il faut également faire attention au bilan humique.

Tableau 1 | Potentiel de lessivage des nitrates des espèces de légumes cultivées en plein champ en fonction de la valeur cible N_{\min} , de la quantité de N dans les résidus de récolte et de la profondeur d'enracinement.

Espèce de légume	Valeur cible de N	Quantité de N dans les résidus de récolte	Profondeur d'enracinement	Nombre de points total	Potentiel	
Chou-fleur	4	4	3	11	élevé	
Brocoli	4	4	3	11		
Choux de Bruxelles	4	4	3	11		
Poireau	3	3	4	10		
Choux	4	4	2	10		
Courgettes	3	4	2	9	moyen	
Maïs sucré	2	3	4	9		
Choux	4	4	1	9		
Céleri, céleri-branches	3	2	4	9		
Haricots	2	3	3	8		
Chou chinois	3	3	2	8		
Petits pois	2	3	3	8		
Chou frisé	4	2	2	8		
Chou-rave	3	2	3	8		
Ciboulette	3	1	4	8		
Céleri, céleri-rave	3	2	3	8		
Betterave rouge	3	3	1	7		
Oignons	1	2	4	7		
Carottes	2	2	3	7		
Salades (<i>Lactuca sativa</i>)	2	1	4	7		
Fenouil	2	2	2	6	faible	
Courge, potirons	2	2	2	6		
Panais	2	2	2	6		
Rampon	1	1	4	6		
Betteraves	2	1	3	6		
Salades (<i>Cichorium</i>)	2	1	3	6		
Salsifis	2	1	2	5		
Epinard	1	1	3	5		
Côtes de bettes	2	1	2	5		
Persil	1	1	3	5		
Radis	1	1	3	5		
Raves	2	1	2	5		
Roquette	2	1	2	5		
Ail	1	a.i.	4	–		n.u.
Chicorée, endives	2	2	a.i.	–		
Rhubarbe	3	a.i.	1	–		
Topinambour	a.i.	2	2	–		
Cardon	1	a.i.	2	–		
Asperges	1	a.i.	1	–		
Pak-Choi	a.i.	a.i.	a.i.	–		

a.i. = aucune indication dans la littérature; n.u. = non utilisable en raison d'un manque de données dans la littérature.

Besoin de recherche

- L'approche présentée ici, qui vise à différencier les espèces de légumes en fonction de leur potentiel de lessivage des nitrates, doit être développée plus avant à l'aide de simulations. Il s'agira d'évaluer des rotations de cultures maraîchères typiques pour la Suisse, plutôt que des espèces de légumes individuelles. Des valeurs mesurées dans le cadre de nouveaux essais pourraient permettre de vérifier les données modélisées.
- Les normes de fumure devraient être revues, en particulier dans le cas des cultures irriguées, en tenant compte des attentes actuelles en matière de rendement et de qualité et des différences entre les variétés. En outre, si plusieurs cultures sont pratiquées par an, le rendement et les besoins en engrais varient selon la saison (Fink et Scharpf 1993). Les systèmes experts existants, tels que N-Expert, devraient être testés dans les conditions suisses.

- Le travail du sol sans labour est associé à un moindre apport d'énergie et de main-d'œuvre et réduit l'érosion grâce à une meilleure couverture et structure du sol. Toutefois, comme on ne dispose guère de résultats sur la façon dont cette technique influence la dynamique de l'azote dans le sol et le lessivage des nitrates dans les cultures maraîchères de plein champ, des essais devraient être menés sur ce sujet.
- Pour améliorer la gestion des résidus de récolte, il convient d'étudier comment mieux conserver l'azote dans le matériel végétal résiduel.

Grâce à l'application cohérente des mesures décrites et à leur développement ultérieur, une réduction du lessivage des nitrates dans les cultures maraîchères de plein champ semble possible ■

Bibliographie

- BMLFUW, 2008. Richtlinien für die sachgerechte Düngung im Garten- und Feldgemüsebau. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien.
- Di H. J. & Cameron K. C., 2002. Nitrate leaching in temperate agroecosystems: sources, factors and mitigating strategies. *Nutrient Cycling in Agroecosystems* 64, 237–256.
- Feller C., Fink M., Laber H., Maync A., Paschold P., Scharpf H.C., Schlaghecken J., Strohmeyer K., Weier U. & Ziegler J., 2011. Düngung im Freilandgemüsebau. *In: Schriftenreihe des Leibniz-Instituts für Gemüse- und Zierpflanzenbau (IGZ)*, 3. Auflage, Heft 4, Großbeeren, 265 p.
- Fink M. & Scharpf H.C., 1993. N-Expert – A decision support system for vegetable fertilization in the field. *Acta Horticulturae* 339, 67–74.
- Kivi K., Kaitala S., Kuosa H., Kuparinen J., Leskinen E., Lignell R., Marcussen B. & Tamminen T., 1993. Nutrient limitation and grazing control of the Baltic plankton community during annual succession. *Limnology and Oceanography* 38, 893–905.
- Marti A. & Keiser A., 2019. Gezieltere Bewässerung mit öffentlich zugänglichen Messdaten. *Kartoffelbau* 70 (4), 14–16.
- Neuweiler R. & Krauss J., 2017. Fertilisation des cultures maraîchères. *In: Principes de fertilisation des cultures agricoles en Suisse (PRIF)*. Recherche Agronomique Suisse 8 (6), publication spéciale, 10/1–10/16.
- OEaux 1998. Ordonnance sur la protection des eaux du 28 octobre 1998 (état au 1^{er} juin 2018). Recueil systématique du droit fédéral n° 814.201.
- OFEV 2019. Etat et évaluation des eaux souterraines en Suisse. Résultats de l'observation naturelle des eaux souterraines NAQUA, état 2016. Office fédéral de l'environnement, Berne. Etat de l'environnement n° 1901, 138 p.
- OPBD, 2016. Ordonnance du Département fédéral de l'intérieur sur l'eau potable et l'eau des installations de baignade et de douche accessibles au public du 16 décembre 2016 (état le 1^{er} mai 2018). Recueil systématique du droit fédéral n° 817.022.11.
- Paschold P., Kleber J. & Mayer N., 2009. Bewässerungssteuerung bei Gemüse im Freiland. *Landbauforschung* 328 (Sonderheft), 43–48.
- Röber R. et Schacht H., 2008. Pflanzenernährung im Gartenbau. Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 444 p.
- Scharpf H.C. & Weier U., 1994. Kalkulatorische Ermittlung des N_{min} -Sollwertes im Gemüsebau unter besonderer Berücksichtigung der Stickstoffimmobilisierung bzw. -fixierung. *Zeitschrift für Pflanzenernährung und Bodenkunde* 157, 11–16.
- Spiess E., Prasuhn V. & Stauffer W., 2011. Einfluss der Winterbegrünung auf Wasserhaushalt und Nitrat auswaschung. *In: Bericht über die 14. Gumpensteiner Lysimeter tagung*. LFZ Raumberg-Gumpenstein, Irnding (A), 149–154.
- Vögeli Albisser C. & Prasuhn V., 2013. Auswirkungen des Klimawandels auf die Schadstoffverfrachtung ins Grundwasser. Station de recherche ART, Zurich, 106 pp. <http://www.lysimeter.ch> [Oktober 2019].
- Zemek O., Neuweiler R., Spiess E., Stüssi M. & Richner W., 2020. Nitrat auswaschungspotenzial im Freilandgemüsebau – eine Literaturstudie. *Agroscope Science* Nr. 95, 117 p.