

## **Sol-Phy-Ly**

**Evaluation du devenir des produits phytopharmaceutiques en  
plein champ en fonction des pratiques culturales pour le  
développement d'une agriculture éco responsable**

### **Rapport d'activités intermédiaire**

**2021 - 2024**

Ce rapport doit être cité comme suit :

Vandenbergh C., Blondel A., Lacroix C., Lefébure K., Colinet G., Dumont B., Pigeon O., 2022. *Evaluation du devenir des produits phytopharmaceutiques en plein champ en fonction des pratiques culturales pour le développement d'une agriculture éco responsable (Sol-Phy-Ly). Rapport d'activités intermédiaire.* Gembloux Agro-Bio Tech (Uliège) & Centre wallon de Recherches Agronomiques. 234 pages.

## **Table des matières**

<b>1. INTRODUCTION.....</b>	<b>11</b>
1.1. CONTEXTE « PHYTO-EAU » EN WALLONIE .....	11
1.2. DESCRIPTION DES LYSIMÈTRES.....	18
1.3. OBJET DE LA CONVENTION DE RECHERCHE .....	19
<b>2. ECHANTILLONNAGE .....</b>	<b>21</b>
2.1. INTRODUCTION.....	21
2.2. ECHANTILLONNAGE ET PREPARATION DES ECHANTILLONS DE SOL .....	21
2.3. ECHANTILLONNAGE DE L'EAU DE PERCOLATION .....	22
<b>3. DÉVELOPPEMENT D'UNE NOUVELLE MÉTHODE MULTI-RÉSIDUS .....</b>	<b>23</b>
3.1. LES MOLECULES SUIVIES DANS LE SOL .....	23
3.2. LES MOLECULES SUIVIES DANS L'EAU .....	25
<b>4. SUIVI DES PPP DANS LE SOL ET DANS L'EAU.....</b>	<b>26</b>
4.1. INTRODUCTION.....	26
4.2. ACLONIFEN .....	28
4.3. BENZOVINDIFLUPYR .....	32
4.4. BIXAFEN.....	38
4.5. BOSCALID.....	46
4.6. CHLORANTRANILIPROLE.....	53
4.7. CHLORIDAZON .....	54
4.8. CLOMAZONE.....	63
4.9. CLOPYRALIDE .....	71
4.10. CLOQUINTOCET-MEXYL .....	73
4.11. CLOTHIANIDINE .....	74
4.12. DESMEDIPHAME .....	82
4.13. DIFENOCONAZOLE .....	86
4.14. DIMETHANAMIDE-P .....	95
4.15. EPOXICONAZOLE .....	103
4.16. ETHOFUMESATE .....	112
4.17. FLUFENACET .....	121
4.18. FLUOPYRAM.....	129
4.19. FLUXAPYROXAD .....	133
4.20. IMIDACLOPRIDE.....	137
4.21. MEFENTRIFLUCONAZOLE .....	139
4.22. MESOSULFURON METHYL .....	142
4.23. MESOTRIONE.....	148
4.24. METAMITRON.....	152
4.25. METAZACHLORE .....	161
4.26. METOLACHLORE .....	167
4.27. NICOSULFURON .....	176
4.28. PENFLUFEN.....	181
4.29. PHENMEDIPHAME .....	182
4.30. PROPICONAZOLE .....	187

4.31.	PROSULFUCARBE.....	194
4.32.	SULFOXAFLORE.....	198
4.33.	TERBUTHYLAZINE.....	199
4.34.	CONCLUSIONS.....	205
<b>5.</b>	<b>EVALUATION AGRONOMIQUE ET ENVIRONNEMENTALE DE MATIÈRES ACTIVES ALTERNATIVES AU GLYPHOSATE.....</b>	<b>206</b>
5.1.	INTRODUCTION.....	206
5.2.	MATÉRIEL ET MÉTHODE.....	206
5.3.	RÉSULTATS ANALYTIQUES.....	207
5.3.1.	<i>Florasulam</i> .....	207
5.3.2.	<i>Halauxifène-méthyl</i> .....	208
5.3.3.	<i>Pyraflufen-éthyl</i> .....	208
5.3.4.	<i>Propaquizafop</i> .....	208
5.3.5.	<i>Metsulfuron-méthyl</i> .....	209
5.4.	RÉSULTATS AGRONOMIQUES.....	210
5.5.	CONCLUSIONS.....	210
<b>6.</b>	<b>DÉSHERBAGE DES CÉRÉALES.....</b>	<b>211</b>
6.1.	DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL.....	211
6.2.	OBSERVATIONS.....	212
6.3.	RÉSULTATS DE L'ANNÉE CULTURALE 2022-2023.....	213
6.3.1.	<i>Évaluation des populations d'adventices</i> .....	213
	Flore adventice.....	213
6.3.1.	<i>Efficacité du désherbage à l'automne</i> .....	215
6.3.1.	<i>Effet de la date de semis sur la pression initiale en adventices</i> .....	217
6.3.2.	<i>Efficacité du désherbage de printemps</i> .....	217
6.3.2.1.	<i>Efficacité du désherbage chimique en T0-T1</i> .....	217
6.3.2.1.	<i>Effet du désherbage en T1-T2</i> .....	218
6.3.2.1.	<i>Effet post désherbage T2-T3</i> .....	220
6.3.2.2.	<i>Effet global</i> .....	222
6.3.3.	<i>Effet sur la biomasse d'adventice</i> .....	223
6.3.4.	<i>Effet sur le rendement</i> .....	224
6.4.	DISCUSSION.....	225
6.5.	CONCLUSION.....	227
<b>7.</b>	<b>DIFFUSION DES ENSEIGNEMENTS DE CETTE CONVENTION DE RECHERCHE ..</b>	<b>228</b>
7.1.	LIVRE BLANC.....	228
7.2.	PHLOÈME.....	228
7.3.	JOURNÉE PROTECT'EAU.....	229
7.4.	ARTICLE UNDER-REVIEW WEED RESEARCH.....	229
7.5.	CONGRÈS DU GROUPE FRANÇAIS DE RECHERCHE SUR LES PESTICIDES.....	229
<b>8.</b>	<b>CONCLUSIONS.....</b>	<b>231</b>
<b>9.</b>	<b>PROGRAMME D'ACTIVITÉS 2023-2024.....</b>	<b>232</b>
9.1.	WORKPACKAGE 2 : « PARCELLES EN HESBAYE ».....	232
9.2.	WORKPACKAGE 3 T1 « SOL-RESIDUS ».....	232
9.3.	WORKPACKAGE 3 T2 « DESHERBAGE MECANIQUE ».....	232
9.4.	WORKPACKAGE 4 : DEVELOPPEMENT DE METHODES D'ANALYSE ET ANALYSE DES ECHANTILLONS.....	232
9.5.	WORKPACKAGE 5 : COMMUNICATION.....	232
<b>10.</b>	<b>PERSPECTIVES POST 2024.....</b>	<b>233</b>
<b>11.</b>	<b>BIBLIOGRAPHIE.....</b>	<b>234</b>



## Liste des figures

Figure 1. Teneurs en pesticides dans les eaux souterraines (réseau DCE et additionnel) (source : <a href="http://environnement.wallonie.be/frameset.cfm?page=http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/">http://environnement.wallonie.be/frameset.cfm?page=http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/</a> SPW (2019). Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, Belgique. Dépôt légal D/2019/11802/08).....	11
Figure 2. Distribution des maxima observés par prise d'eau lors de trois périodes consécutives (source : SPW (2019). Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, Belgique. Dépôt légal D/2019/11802/08).....	12
Figure 3. Impact des pesticides sur la qualité des eaux souterraines (Source : SPW-EEW). ....	12
Figure 4. Evolution des quantités totales de substances actives vendues en Belgique pour les utilisateurs professionnels par grand groupe de substances actives, de 1995 à 2015 (source : CORDER asbl, le Comité Régional Phyto et Applied microbiology – Phytopathology (ELIM-ELI-UCL))......	14
Figure 5. Evolution de la quantité de substances actives (en kg) appliquées sur les différentes cultures pour la période 2004-2015 (réseau de comptabilité de la DAEA)......	15
Figure 6. Répartition des quantités par type de substance active appliquées dans les cultures de pomme de terre (réseau de comptabilité de la DAEA 2015). ....	15
Figure 7. Répartition des quantités par type de substance active appliquée dans les cultures de froment (réseau de comptabilité DAEA 2015)......	16
Figure 8. Schéma d'un lysimètre. ....	18
Figure 9. Applications et suivi de la teneur en aclonifen dans la parcelle Bovenistier.....	29
Figure 10. Applications et suivi de la teneur en aclonifen dans la parcelle Chemin de fer. ....	30
Figure 11. Applications et suivi de la teneur en aclonifen dans la parcelle Sole 4. ....	31
Figure 12. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle Haute Bova.....	33
Figure 13. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR4.....	34
Figure 14. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR8.....	35
Figure 15. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR12.....	36
Figure 16. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR16.....	37
Figure 17. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle Haute Bova. ....	39
Figure 18. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle Chemin de fer. ....	40
Figure 19. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle Bovenistier.....	41
Figure 20. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR4. ....	42
Figure 21. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR8. ....	43
Figure 22. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR12. ....	44
Figure 23. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR16. ....	45
Figure 24. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle Chemin de fer.....	47
Figure 25. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle Bovenistier. ....	48
Figure 26. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR4.....	49
Figure 27. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR8.....	50
Figure 28. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR12.....	51
Figure 29. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR16.....	52
Figure 30. Applications et suivi de la teneur en chlorantraniliprole dans la parcelle Bovenistier.....	53
Figure 31. Applications et suivi de la teneur en chlorantraniliprole dans la parcelle Chemin de fer.....	53
Figure 32. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Haute Bova.....	55
Figure 33. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Chemin de fer.....	56
Figure 34. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Bovenistier. ....	57
Figure 35. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Sole 4.....	58
Figure 36. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR4.....	59
Figure 37. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR8.....	60

Figure 38. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR12.....	61
Figure 39. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR16.....	62
Figure 40. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle Chemin de fer.....	64
Figure 41. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle Bovenistier.....	65
Figure 42. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle Sole 4.....	66
Figure 43. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR4.....	67
Figure 44. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR8.....	68
Figure 45. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR12.....	69
Figure 46. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR16.....	70
Figure 47. Applications et suivi de la teneur en clopyralide dans la parcelle Bovenistier.....	71
Figure 48. Applications et suivi de la teneur en clopyralide dans la parcelle Sole 4.....	72
Figure 49. Applications et suivi de la teneur en cloquintocet-mexyl dans la parcelle SR8.....	73
Figure 50. Applications et suivi de la teneur en cloquintocet-mexyl dans la parcelle SR16.....	73
Figure 51. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle Haute Bova.....	74
Figure 52. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle Chemin de fer.....	75
Figure 53. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle Bovenistier.....	76
Figure 54. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle Sole 4.....	77
Figure 55. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR4.....	78
Figure 56. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR8.....	79
Figure 57. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR12.....	80
Figure 58. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR16.....	81
Figure 59. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle Chemin de fer.....	82
Figure 60. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle Haute Bova.....	83
Figure 61. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle SR4.....	83
Figure 62. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle SR8.....	84
Figure 63. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle SR12.....	84
Figure 64. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle SR16.....	85
Figure 65. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Haute Bova.....	87
Figure 66. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Chemin de fer.....	88
Figure 67. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Bovenistier.....	89
Figure 68. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Sole 4.....	90
Figure 69. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR4.....	91
Figure 70. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR8.....	92
Figure 71. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR12.....	93
Figure 72. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR16.....	94
Figure 73. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle Haute Bova.....	96
Figure 74. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle Chemin de fer.....	97
Figure 75. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle Bovenistier.....	98
Figure 76. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR4.....	99
Figure 77. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR8.....	100
Figure 78. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR12.....	101
Figure 79. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR16.....	102
Figure 80. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Haute Bova.....	104
Figure 81. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Chemin de fer.....	105
Figure 82. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Bovenistier.....	106
Figure 83. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Sole 4.....	107
Figure 84. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR4.....	108
Figure 85. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR8.....	109
Figure 86. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR12.....	110
Figure 87. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR16.....	111
Figure 88. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Haute Bova.....	113
Figure 89. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Chemin de fer.....	114
Figure 90. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Bovenistier.....	115

Figure 91. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Sole 4.....	116
Figure 92. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR4.....	117
Figure 93. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR8.....	118
Figure 94. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR12.....	119
Figure 95. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR16.....	120
Figure 96. Applications et suivi de la teneur en flufenacet, en flufenacet ESA (métabolite 1) et en flufenacet OA (métabolite 2) dans la parcelle Sole 4. ....	122
Figure 97. Applications et suivi de la teneur en flufenacet, en flufenacet ESA (métabolite 1) et en flufenacet OA (métabolite 2) dans la parcelle Chemin de fer.....	123
Figure 98. Applications et suivi de la teneur en flufenacet, en flufenacet ESA (métabolite 1) et en flufenacet OA (métabolite 2) dans la parcelle Bovenistier. ....	124
Figure 99. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR4. ....	125
Figure 100. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR8. ....	126
Figure 101. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR12. ....	127
Figure 102. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR16. ....	128
Figure 103. Applications et suivi de la teneur en fluopyram dans la parcelle Chemin de fer.....	130
Figure 104. Applications et suivi de la teneur en fluopyram dans la parcelle Bovenistier. ....	131
Figure 105. Applications et suivi de la teneur en fluopyram dans la parcelle Sole 4. ....	132
Figure 106. Applications et suivi de la teneur en fluxapyroxad dans la parcelle Haute Bova.....	134
Figure 107. Applications et suivi de la teneur en fluxapyroxad dans la parcelle Bovenistier. ....	135
Figure 108. Applications et suivi de la teneur en fluxapyroxad dans la parcelle Sole 4.....	136
Figure 109. Applications et suivi de la teneur en imidaclopride dans la parcelle Sole 4.....	137
Figure 110. Applications et suivi de la teneur en mefentrifluconazole dans la parcelle Bovenistier. ..	139
Figure 111. Applications et suivi de la teneur en mefentrifluconazole dans la parcelle SR4. ....	140
Figure 112. Applications et suivi de la teneur en mefentrifluconazole dans la parcelle SR8.....	140
Figure 113. Applications et suivi de la teneur en mefentrifluconazole dans la parcelle SR12.....	141
Figure 114. Applications et suivi de la teneur en mefentrifluconazole dans la parcelle SR16.....	141
Figure 115. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle Haute Bova. ....	143
Figure 116. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR4. ....	144
Figure 117. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR8. ....	145
Figure 118. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR12. ....	146
Figure 119. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR16. ....	147
Figure 120. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR4. ....	148
Figure 121. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR8. ....	149
Figure 122. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR12. ....	150
Figure 123. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR16. ....	151
Figure 124. Applications et suivi de la teneur en metamitron et de son métabolite (metamitron desamino libellé ‘Métabolite 1’) dans la parcelle Haute Bova.....	153
Figure 125. Applications et suivi de la teneur en metamitron et de son métabolite (metamitron desamino libellé ‘Métabolite 1’) dans la parcelle Chemin de fer.....	154
Figure 126. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle Bovenistier. ....	155
Figure 127. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle Sole 4. ....	156
Figure 128. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle SR4.....	157
Figure 129. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle SR8.....	158
Figure 130. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle SR12.....	159
Figure 131. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle SR16.....	160
Figure 132. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle Bovenistier. ....	162
Figure 133. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle Sole 4.....	163
Figure 134. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle Chemin de fer.....	164
Figure 135. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle SR8.....	165
Figure 136. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle SR12.....	166
Figure 137. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Haute Bova.....	168
Figure 138. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Chemin de fer.....	169

Figure 139. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Bovenistier. ....	170
Figure 140. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Sole 4.....	171
Figure 141. Applications et suivi de la teneur en metolachlore et en metolachlore ESA (métabolite 1) dans la parcelle SR4.....	172
Figure 142. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle SR8.....	173
Figure 143. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle SR12.....	174
Figure 144. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle SR16.....	175
Figure 145. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR4.....	177
Figure 146. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR8.....	178
Figure 147. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR12.....	179
Figure 148. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR16.....	180
Figure 149. Applications et suivi de la teneur en penflufen dans la parcelle Bovenistier. ....	181
Figure 150. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle Haute Bova.....	183
Figure 151. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle Chemin de fer.....	183
Figure 152. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle Bovenistier. ....	184
Figure 153. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle Sole 4. ....	184
Figure 154. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle SR4.....	185
Figure 155. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle SR8.....	185
Figure 156. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle SR12.....	186
Figure 157. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle SR16.....	186
Figure 158. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle Sole 4. ....	188
Figure 159. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle Bovenistier. ....	189
Figure 160. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR4. ....	190
Figure 161. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR8. ....	191
Figure 162. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR12. ....	192
Figure 163. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR16. ....	193
Figure 164. Applications et suivi de la teneur en prosulfocarbe dans la parcelle Bovenistier.....	195
Figure 165. Applications et suivi de la teneur en prosulfocarbe dans la parcelle Haute Bova. ....	196
Figure 166. Applications et suivi de la teneur en prosulfocarbe dans la parcelle Sole 4.....	197
Figure 167. Applications et suivi de la teneur en sulfoxaflor dans la parcelle Chemin de fer.....	198
Figure 168. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle Sole 4.....	200
Figure 169. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR4. ....	201
Figure 170. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR8. ....	202
Figure 171. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR12. ....	203
Figure 172. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR16. ....	204
Figure 173. Applications et suivi de la teneur en florasulam dans la parcelle SR16.....	207
Figure 174. Application et suivi de la teneur en halauxifène-méthyl dans la parcelle SR16.....	208
Figure 175. Application et suivi de la teneur en propaquizafop dans la parcelle SR16.....	209
Figure 176. Applications et suivi de la teneur en metsulfuron-méthyl dans la parcelle SR16. ....	209
Figure 177. Protocole expérimental 2022-2023 de l'essai de désherbage du froment.....	211
Figure 178. Distribution spatiale du nombre d'adventices au premier comptage. ....	214
Figure 179. Tendence de l'évolution du nombre d'adventices en fonction du temps selon la date de semis, la dose d'herbicide et les opérations de désherbage mécanique. ....	215
Figure 180. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices entre T0 et T1 en fonction des modalités de désherbage chimique en semis hâtif et tardif. Les losanges rouges représentent les moyennes. Les modalités ayant des lettres identiques à de la même date de semis ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. ....	218
Figure 181. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices entre T1 et T2 en fonction de la dose d'herbicide, des modalités de désherbage mécanique et de la date de semis du froment. ....	219



Figure 182. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices de type dicotylées entre T2 et T3 en fonction de la date de semis du froment. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. ....	220
Figure 183. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices de type dicotylée entre T2 et T3 en fonction des modalités de désherbage mécanique. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. ....	221
Figure 184. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices entre T0 et T2 en fonction de la date de semis du froment, des doses d'herbicide et des modalités de désherbages mécaniques.....	222
Figure 185. Biomasse d'adventices à floraison du froment en fonction de la date de semis du froment, de la dose d'herbicide et des modalités de désherbage mécanique. Les combinaisons de modalités ayant des lettres minuscules identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. Les combinaisons de modalités ayant des lettres majuscules identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. Les combinaisons de modalités ayant des triangles de couleurs identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. ....	223
Figure 186. Rendement en grain à 15% d'humidité selon la biomasse en MS d'adventice à floraison du froment selon la date de semis du froment. ....	224
Figure 187. Rendement du froment en fonction de la date de semis du froment, de la dose d'herbicide et des modalités de désherbage mécanique. Les combinaisons de modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.....	225

## Liste des tableaux

Tableau 1. Concentration moyenne (ng.l <sup>-1</sup> ) de métabolites et de substances actives dans les eaux souterraines (2017).....	13
Tableau 2. Extrapolation de la quantité de substances actives appliquées (kg.ha <sup>-1</sup> ) par type de culture à l'échelle de la Wallonie (2015).....	16
Tableau 3. Vente nationale de quelques substances actives (tonnes.an <sup>-1</sup> ).....	17
Tableau 4. Descriptif de gestion du travail du sol et des résidus de culture sur les parcelles de Gembloux .....	18
Tableau 5. Nombre d'analyses réalisées par le CRA-W.....	21
Tableau 6. Molécules SDHI suivies et limites de quantification (LOQ). .....	23
Tableau 7. Liste des nouvelles molécules suivies dans le cadre du projet Sol-Phy-Ly. ....	24
Tableau 8. Liste des molécules herbicides suivies en 2023 dans les échantillons de sol.....	24
Tableau 9. Liste des nouvelles molécules suivies par la méthode multi en électrospray positif dans les échantillons d'eau. ....	25
Tableau 10. Liste des nouvelles molécules suivies par la méthode multi en électrospray négatif dans les échantillons d'eau. ....	25
Tableau 11. Semis, activités de désherbage et prises de données réalisées en 2022-2023.....	212
Tableau 12. Composition initiale de la flore adventice.....	214
Tableau 13. Nombre de graminées moyen/m <sup>2</sup> en sortie d'hiver selon les modalités de désherbage mécanique. 1HEA = un passage de herse à l'automne, 1HE= un passage de herse à l'automne, 0P = pas de passage, 2HE= deux passages de herse à l'automne. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. ....	217
Tableau 14. Nombre d'adventices moyen /m <sup>2</sup> en sortie d'hiver selon la date de semis et la nature des adventices. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. ....	217
Tableau 15. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices en fonction de la dose d'herbicide ou de la date de semis ou du désherbage mécanique sur la population de graminées et de dicotylées (moyenne et l'erreur standard en pourcentage) .....	219

# 1. Introduction

## 1.1. Contexte « phyto-eau » en Wallonie

Depuis 1998, l'eau destinée à la distribution publique fait l'objet d'un suivi régulier afin de vérifier sa potabilité (Directive 2020/2184). Des concentrations maximales sont fixées par substance (100 ng/l) et pour le total des substances (500 ng/l) ; seuils de non-potabilité qui sont 10 à 100 fois inférieurs aux limites fixées par l'OMS<sup>1</sup>.

En 2006, la Directive 2006/118/CE a étendu ces seuils à toutes les eaux souterraines.

Afin de pouvoir suivre la qualité des eaux souterraines conformément aux prescriptions de la Directive-cadre sur l'eau (Directive 2000/60/CE), le SPW dispose d'un réseau de surveillance constitué de :

- 200 points d'observation dans des captages (suivis par les producteurs d'eau) et
- 200 points d'observation dits 'patrimoniaux' (piézomètres, puits privés, sources) situés dans des régions peu aquifères ; ces derniers étant suivis par l'ISSeP<sup>2</sup>.

La figure 1 illustre par substance, la fréquence et l'ampleur des éventuels dépassements de limite de potabilité observés depuis 2006 dans ce réseau de surveillance. L'atrazine (et ses deux métabolites), le diuron, l'isoproturon, le 2,6-dichlorobenzamide (BAM) et la bentazone représentent l'essentiel des problèmes qualitatifs.

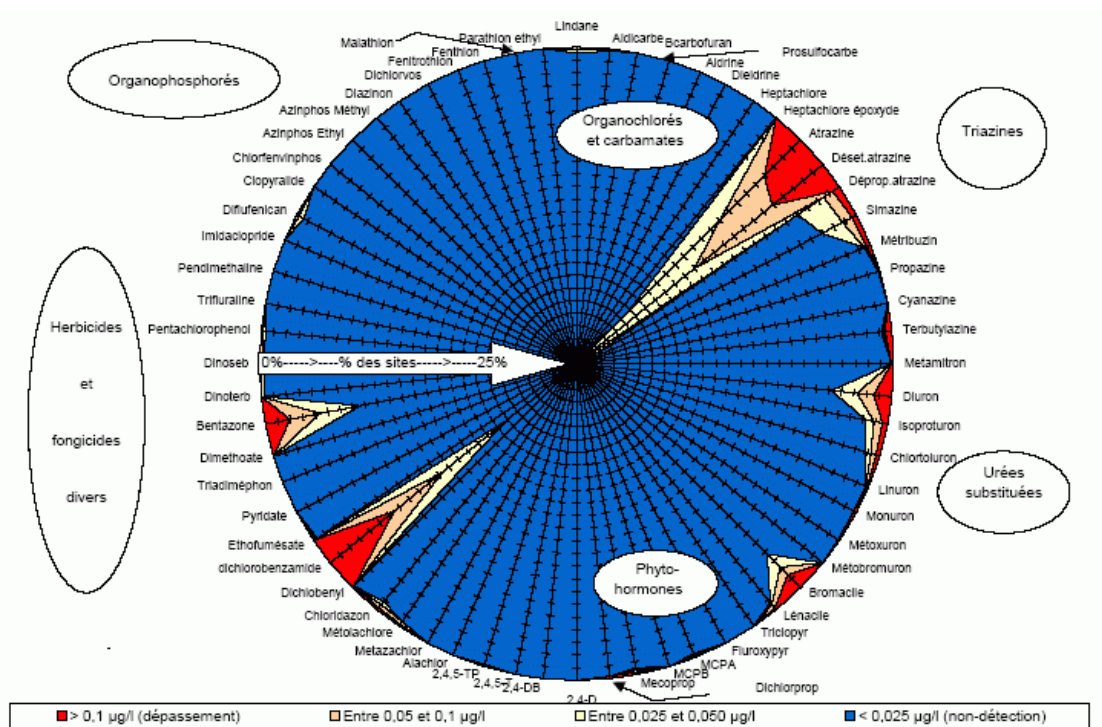


Figure 1. Teneurs en pesticides dans les eaux souterraines (réseau DCE et additionnel) (source : <http://environnement.wallonie.be/frameset.cfm?page=http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/> SPW (2019). Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, Belgique. Dépôt légal D/2019/11802/08)

<sup>1</sup> Organisation Mondiale de la Santé

<sup>2</sup> Institut Scientifique de Service Public

A l'exception de la bentazone, la concentration de ces matières actives a tendance à régresser depuis 1995 (figure 2).

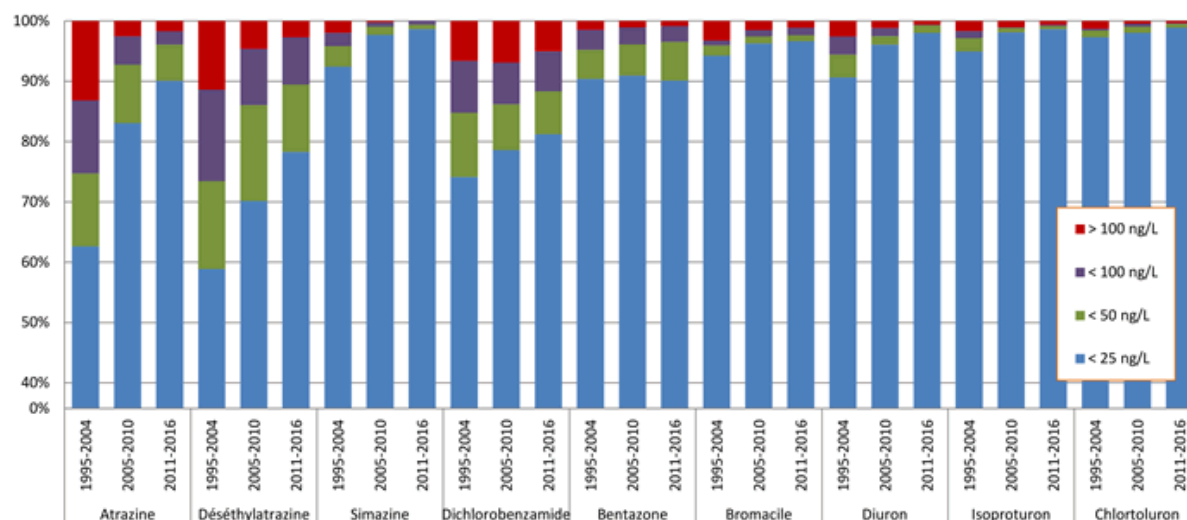


Figure 2. Distribution des maxima observés par prise d'eau lors de trois périodes consécutives (source : SPW (2019)). Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, Belgique. Dépôt légal D/2019/11802/08

Les aquifères les plus touchés sont les Sables bruxelliens des bassins Haine et Sambre, les Sables du Bruxellien et le Crétacé de Hesbaye (figure 3).

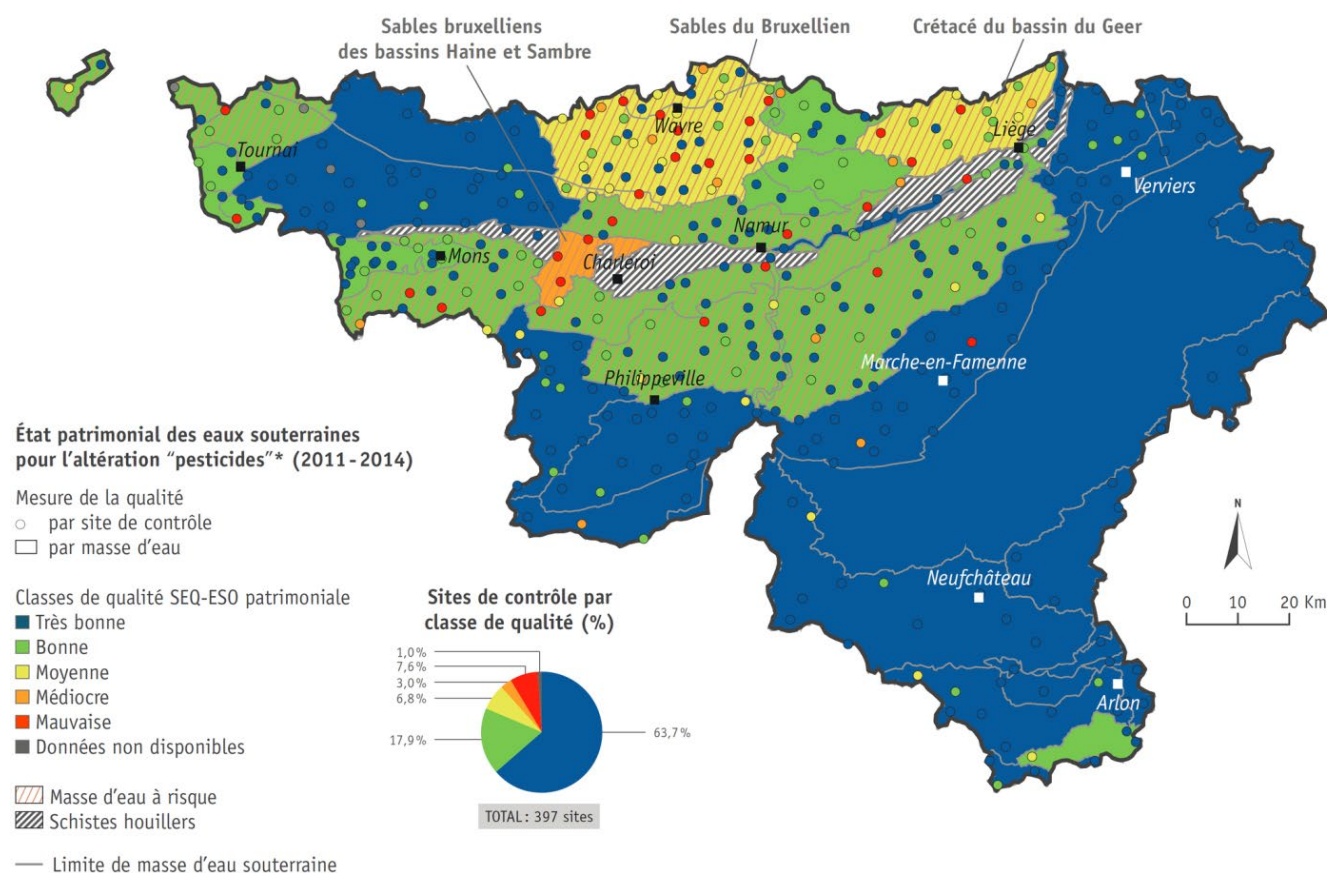


Figure 3. Impact des pesticides sur la qualité des eaux souterraines (Source : SPW-EEW).

Ces dernières années, l'attention s'est également portée sur les métabolites<sup>3</sup> de plusieurs substances actives (chloridazon, chlorothalonil, S métolachlore, métazachlore et glyphosate). Il a ainsi été constaté que certains métabolites pouvaient être présents en plus grandes quantités dans les eaux souterraines que leur substance active 'mère', à l'exemple du chloridazon (tableau 1).

**Tableau 1. Concentration moyenne (ng.l<sup>-1</sup>) de métabolites et de substances actives dans les eaux souterraines (2017).**

Molécule	Moyenne points patrimoniaux (33)	Moyenne captages d'eau (77)
Chloridazon	3	0
<i>Desphenylchloridazon</i>	2393	1934
Methyl-desphenylchloridazon	285	162
<i>Chlorothalonil SA (VIS01)</i>	112	85
<i>Metolachlore ESA</i>	55	66
Metolachlore OA	2	0
<i>Metazachlore ESA</i>	22	13
Metazachlore OA	18	4
Glyphosate	3	0
AMPA	10	3

Source : SPW (communication F. Delloye)

En italique, les métabolites dont la surveillance est imposée par le Code de l'Eau

Pour pouvoir mieux interpréter ces chiffres (pourquoi telle ou telle substance est rencontrée dans les eaux souterraines, pourquoi en diminution ou en augmentation, pourquoi d'autres sont absentes), il y a lieu de s'intéresser à deux facteurs qui conditionnent les flux en profondeur :

1. les caractéristiques physico-chimiques : plus une substance est stable (c-à-d résistante à la photolyse, l'hydrolyse et aux dégradations par les micro-organismes du sol) et mobile (peu retenue par le sol), plus elle peut migrer vers les eaux souterraines ;
2. l'usage : plus une substance est utilisée, plus elle peut engendrer une concentration importante dans l'eau (simple principe de dilution dans une lame d'eau qui percole dans le sol).

Les caractéristiques physico-chimiques sont illustrées par la durée de demi-vie (DT50) et la solubilité (Koc, Kw). A partir de ces caractéristiques, Gustafson (1989) a construit un indice empirique de lixiviation « GUS » (Groundwater Ubiquity Score) comme suit :

$$GUS = \log DT50 [4 - \log (Koc)]$$

En fonction de la valeur obtenue, les pesticides présentent un risque de contamination des eaux souterraines élevé (GUS > 2.8) ou faible (GUS < 1.8).

<sup>3</sup> Desphenylchloridazon et methyl-desphenylchloridazon sont des métabolites du chloridazon

Chlorothalonil SA est un métabolite du chlorothalonil

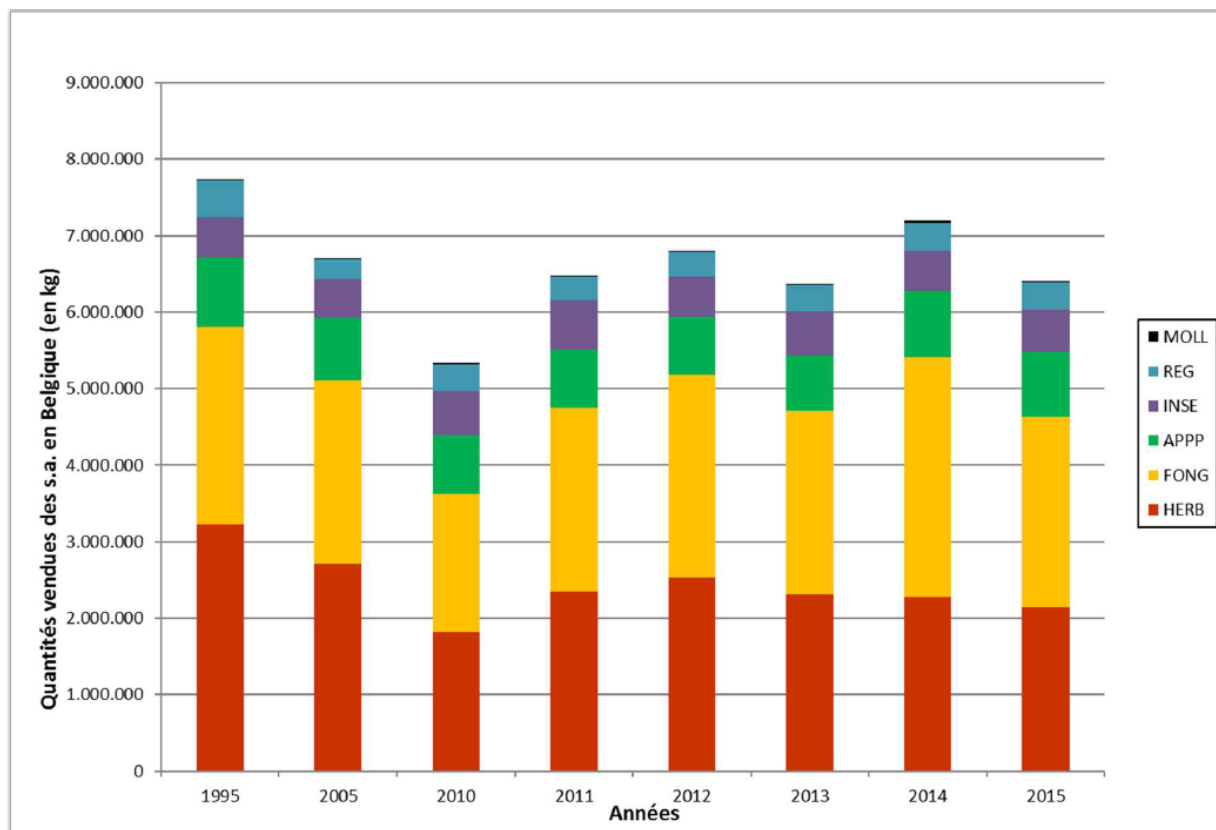
Metolachlore ESA et OA sont des métabolites du metolachlore et S-metolachlore

Metazachlore ESA et OA sont de métabolites du metazachlore

AMPA est un métabolite du glyphosate

En ce qui concerne les usages, la discussion qui suit s'appuie sur les résultats d'une étude<sup>4</sup> menée en 2017 par CORDER asbl, le Comité Régional Phyto et Applied microbiology – Phytopathology (ELIM-ELI-UCL).

En Belgique, un peu plus de 6.000 tonnes de substances actives sont annuellement utilisées par des professionnels (figure 4). Leurs usages ont fortement diminué entre 1995 et 2010. En 2011, ils ont brusquement augmenté pour se stabiliser depuis lors. Le pic observé en 2014 s'explique essentiellement par les conditions humides du printemps qui ont causé un recours plus important aux fongicides.



**Figure 4. Evolution des quantités totales de substances actives vendues en Belgique pour les utilisateurs professionnels par grand groupe de substances actives, de 1995 à 2015 (source : CORDER asbl, le Comité Régional Phyto et Applied microbiology – Phytopathology (ELIM-ELI-UCL)).**

MOLL = molluscicide, REG = régulateur, INSE = insecticide, APPP = autres produits phytopharmaceutiques, FONG = fongicide, HERB = herbicide

A l'échelle de la région wallonne, les auteurs se sont appuyés sur les données de la DAEA<sup>5</sup> collectées annuellement dans un peu plus de 400 exploitations agricoles ou horticoles. L'examen des factures d'achat révèle que les quantités les plus importantes sont destinées au froment, à la pomme de terre, à la betterave et aux vergers de basses tiges (figure 5).

<sup>4</sup> Estimation quantitative des utilisations de produits phytopharmaceutiques par les différents secteurs d'activité. Projet financé par le SPW – DGO3.

<sup>5</sup> Direction de l'Analyse Economique Agricole - SPW

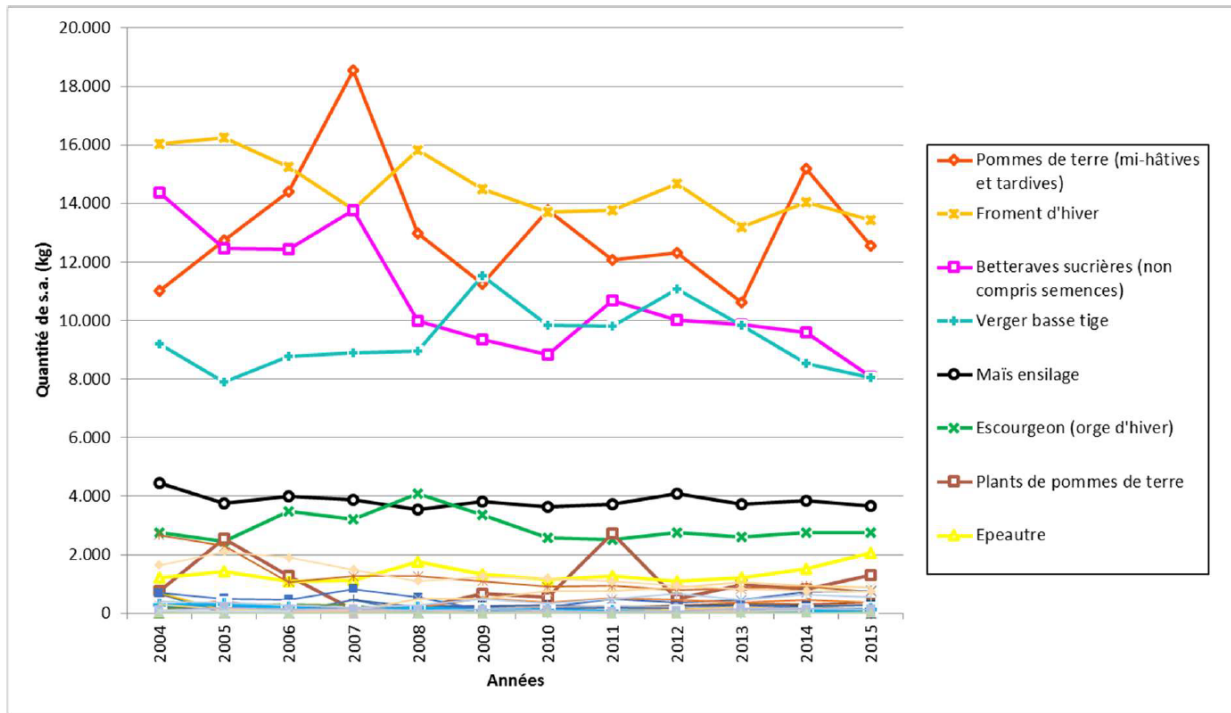


Figure 5. Evolution de la quantité de substances actives (en kg) appliquées sur les différentes cultures pour la période 2004-2015 (réseau de comptabilité de la DAEA).

Pour la pomme de terre, le mancozèbe (fongicide) représente environ la moitié des quantités achetées (figure 6).

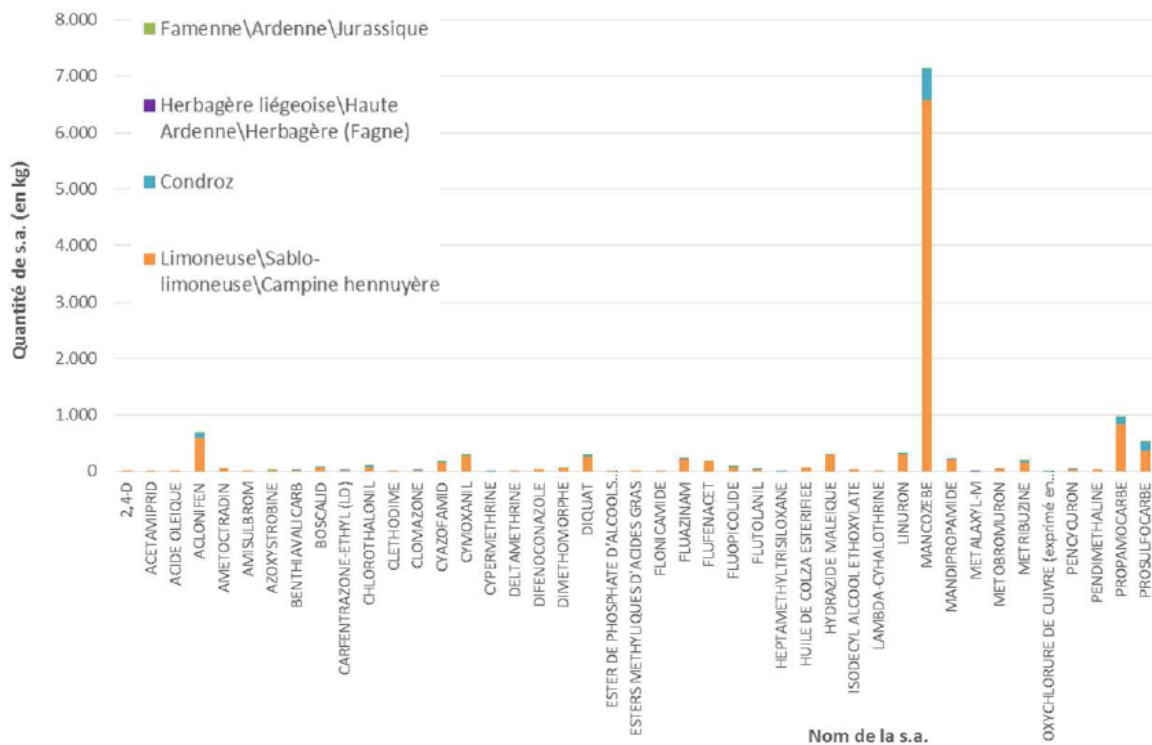


Figure 6. Répartition des quantités par type de substance active appliquées dans les cultures de pomme de terre (réseau de comptabilité de la DAEA 2015).

Pour le froment, les quantités achetées (figure 7) mettent en lumière des usages importants de chlorure de chlormequat (régulateur de croissance), de chlorothalonil et de prothioconazole (fongicides) et d'isoproturon (herbicide).

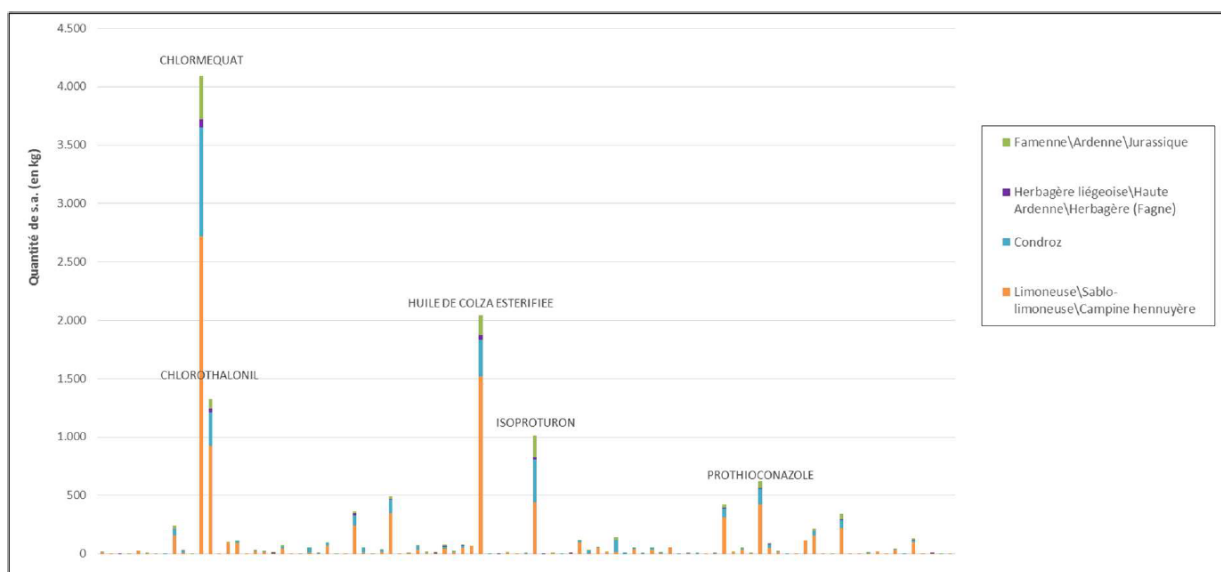


Figure 7. Répartition des quantités par type de substance active appliquée dans les cultures de froment (réseau de comptabilité DAEA 2015).

En exprimant ces quantités par unité de surface (hectare), à l'échelle de la région wallonne, il apparaît que la pomme de terre est la culture la plus consommatrice de pesticides (essentiellement fongicides). Par la fréquence des désherbages, la betterave occupe la deuxième place de ce classement (tableau 2).

Bien que ne représentant qu'un peu plus d'un dixième de la superficie agricole, ces deux cultures reçoivent plus de la moitié des quelques 1.400 tonnes de pesticides épandus en Wallonie en 2015.

Tableau 2. Extrapolation de la quantité de substances actives appliquées ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) par type de culture à l'échelle de la Wallonie (2015).

Nom de la culture	Quantité totale extrapolée de s.a (kg) en Wallonie	Surface (ha) en Wallonie <sup>133</sup>	Quantité de s.a. par hectare (kg/ha) en Wallonie
Betteraves fourragères	5.182,66	945,15	5,48
Betteraves sucrières (non compris semences)	220.802,86	34.669,92	6,37
Epeautre	42.381,96	18.501,36	2,29
Escourgeon (orge d'hiver)	69.879,93	30.292,70	2,31
Froment d'hiver	367.338,64	130.426,97	2,82
Mais ensilage	68.572,16	53.274,17	1,29
Orge de printemps	2.165,05	2.728,49	0,79
Prairies permanentes	15.910,31	306.628,39	0,05 <sup>134</sup>
Prairies temporaires (y compris ray-grass)	2.577,60	30.639,56	0,08 <sup>135</sup>
Pommes de terre (mi-hâtives et tardives)	598.639,56	33.972,98	17,62



Les concentrations en pesticides observées aujourd’hui dans les eaux souterraines sont, vu le temps de transfert dans la zone vadose, la conséquence de traitements réalisés quelques années à quelques dizaines d’années auparavant.

Il est dès lors pertinent de faire le point sur les usages des substances actives problématiques (figure 1) fin des années ’90 jusqu’en 2015 (tableau 3).

**Tableau 3. Vente nationale de quelques substances actives (tonnes.an<sup>-1</sup>).**

Substance active	Indice GUS <sup>6</sup>	1995	2005	2010	2015
<b>Atrazine</b>	2.57	184	0	0	0
<b>Bentazone</b>	1.95	86	62	19	22
<b>Bromacile</b>	3.44	4	0	0	0
Chloridazon	2.62	225	105	53	60
<b>Dichlobénil</b>	1.19	13	40	0	0
<b>Diuron (non agricole)</b>	2.65	202	25	0	0
Flufenacet	2.49	0	21	62	58
Glyphosate	-0.29	322	826	382	471
<b>Isoproturon</b>	2.61	280	113	86	66
Mancozèbe	-1.45	660	1.205	672	788

En gras, les substances actives les plus rencontrées dans les eaux souterraines

La lecture de ce tableau indique que :

- fin des années ’90, le mancozèbe, substance active la plus utilisée en pomme de terre (figure 6) et le glyphosate (dans l’actualité ces dernières années) sont deux fois plus utilisés que les substances actives problématiques pour les eaux souterraines sans être observés dans les eaux souterraines. L’explication réside dans les caractéristiques physico-chimiques de ces molécules : ces deux substances actives présentent un indice GUS négatif alors que les substances actives problématiques présentent un indice GUS supérieur à 2,2.
- même utilisées en ‘petite’ quantité (quelques tonnes par an) jusqu’à leur interdiction d’usage à la fin des années ’90 - début des années 2000, le bromacile et le dichlobénil sont aujourd’hui encore bien présents (substance active ou métabolites) dans les eaux souterraines.
- à l’exemple du flufenacet, de nouvelles substances actives sont mises sur le marché et sont, en 2015, utilisées dans des quantités équivalentes à des molécules problématiques telles que le chloridazon.

Ce dernier commentaire met en évidence l’intérêt du lysimètre pour pouvoir anticiper une éventuelle contamination similaire à l’atrazine.

<sup>6</sup> PPDB Database consulté le 25/05/2019 <https://sitem.herts.ac.uk/aeru/ppdb/en/>

## 1.2. Description des lysimètres

Deux sites lysimétriques sont exploités par Gembloux Agro-Bio Tech :

1. en Hesbaye, quatre parcelles cultivées par des agriculteurs sont équipées depuis 2003, d'un lysimètre. Ce site est un observatoire des pratiques agricoles ;
2. à Gembloux, une parcelle de la ferme expérimentale a été équipée en 2011 de quatre lysimètres afin de suivre l'impact du travail de sol (labour ou travail simplifié) et de la gestion des résidus de culture (enfouissement ou exportation) sur le rendement des récoltes, le sol et la lixiviation des intrants (azote et produits phytopharmaceutiques).

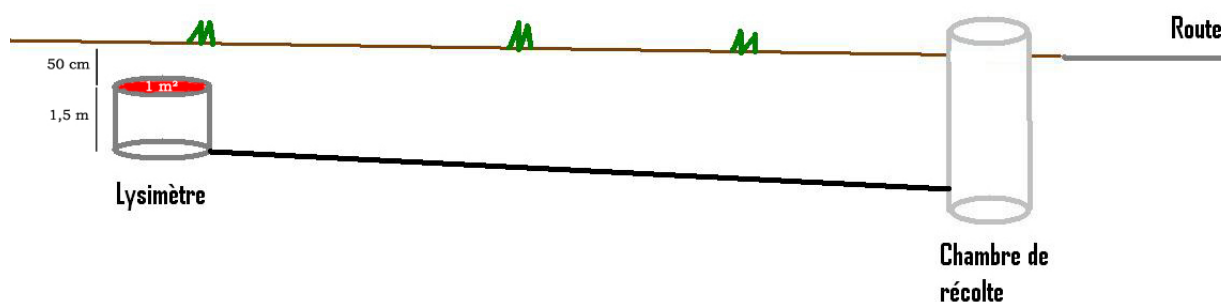
Le tableau 4 explicite la spécificité de chaque parcelle équipée d'un lysimètre à Gembloux.

**Tableau 4. Descriptif de gestion du travail du sol et des résidus de culture sur les parcelles de Gembloux**

	Non labour	Labour
Enfouissement des résidus de culture (paille)	SR12	SR16
Exportation des résidus de culture (paille)	SR4	SR8

Ces deux sites sont valorisés dans le cadre de la présente convention de recherche.

Les lysimètres installés en Hesbaye et sur une parcelle de la ferme expérimentale de Gembloux Agro-Bio Tech sont des tonneaux d'un mètre carré de section et de 1,5 m de hauteur, remplis de terre et drainés à leur base. Chaque tonneau est placé à deux mètres de profondeur, en pleine parcelle et relié à une chambre de récolte dans laquelle se trouve un réservoir qui collecte l'eau de drainage (figure 8).



**Figure 8. Schéma d'un lysimètre.**

Par rapport aux observations dans les eaux souterraines, les lysimètres offrent deux avantages :

- la collecte des eaux de percolation à deux mètres de profondeur permet d'anticiper l'impact de l'usage d'une substance active sur la qualité des eaux et ainsi de prendre les éventuelles mesures correctives ;
- le fait d'observer à l'échelle parcellaire permet de réaliser un bilan de masse (quantité apportée – quantité lixiviée) et de mettre en évidence les facteurs qui conditionnent les flux (période de l'apport, pratiques agricoles, conditions climatiques...).

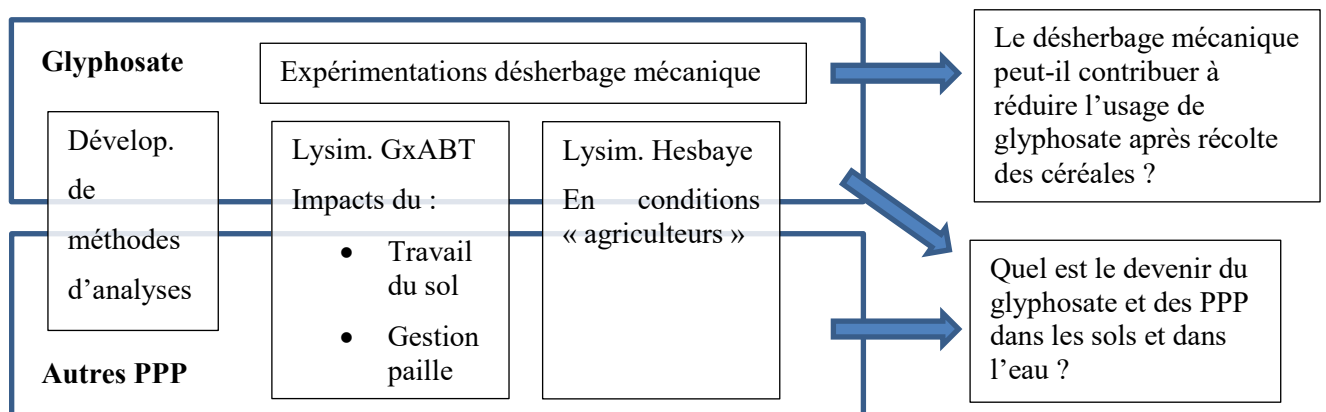
### 1.3. Objet de la convention de recherche

*Extraits de texte de la convention*

Ce projet de recherche ambitionne de contribuer à :

- l'évaluation des flux de produits phytopharmaceutiques (PPP) par lixiviation en plein champ dans les deux sites équipés de lysimètres ;
- la mise au point de méthodes en laboratoire pour le dosage de matières actives (y compris métabolites) ;
- l'évaluation de l'impact des pratiques culturales (gestion des résidus de récolte) sur la dégradation des substances actives par le sol et leur flux vers les eaux souterraines ;
- la proposition de recommandations en ce compris l'évaluation environnementale du glyphosate et
- la proposition d'alternatives.


Le schéma suivant illustre les moyens mis en œuvre pour répondre à ces questions.



Dans le cadre de ce programme de recherches, trois partenaires sont impliqués :

- GxABT - pédologie (partenaire 1) qui dispose d'une expertise en cartographie, analyse des sols et gestion de lysimètres;
- CRA-W U10 Produits de protection, de contrôle et résidus - analyse des PPP (partenaire 2) qui dispose d'une expertise en développement de méthodes et analyses de PPP;
- GxABT - phytotechnie (partenaire 3) qui dispose d'une expertise dans l'usage des PPP et la gestion de sites expérimentaux.

La complémentarité et le nombre limité des partenaires impliqués dans ce programme constituent un atout pour une réelle transversalité et co-construction des travaux de recherche et des recommandations.



Gembloux Agro-Bio Tech et le Centre wallon de Recherches Agronomiques sont membres de la Structure PROTECT'eau en charge de communiquer et d'encadrer les agriculteurs vers une agriculture plus durable (thématiques nitrate et PPP).

La diffusion des résultats de cette recherche via cette Structure est prévue :

- par le biais de lettres d'information publiées régulièrement dans la presse agricole spécialisée ;
- via des visites en ferme (la vingtaine de conseillers dispose d'un carnet d'adresses d'environ 4000 agriculteurs).

Par ailleurs, ces mêmes partenaires organisent régulièrement des réunions d'information à l'attention d'agriculteurs (par exemple, le Livre Blanc). Les résultats de cette recherche seront donc également valorisés via ce canal.

## 2. Echantillonnage

### 2.1. Introduction

Des échantillonnages de sol et d'eau ont été réalisés sur le site de Gembloux Agro-Bio Tech (*Sol Résidus*) et dans des parcelles d'agriculteurs situées en Hesbaye.

Le tableau 5 illustre le nombre d'analyses effectuées par le CRA-W au cours de cette étude.

**Tableau 5. Nombre d'analyses réalisées par le CRA-W.**

SOL	Glyphosate	Multi	Bentazone	Herbicides 2021*	SDHI	SDHI/Multi	Herbicides 2023**	
05/2018-05/2019	178	27						
05/2019-05/2020	96	135	267					
05/2020-05/2021		264		95	273			
05/2021-05/2023		188			188			
05/2022-05/2023						327	172	<b>Total</b>
<b>Total</b>	274	614	267	95	461	327	172	<b>2246</b>

\* : Fluroxypyr et Propaquizafop

\*\* : cloquintocet mexyl; florasulam; halauxifen-méthyl; metsulfuron-méthyl; propaquizafop; pyraflufen-éthyl

EAU	Glyphosate	Multi	Bentazone	SDHI	Multi/SDHI	
05/2018-05/2019	9	9				
05/2019-05/2020	11	58	55			
05/2020-05/2021		55	55			
05/2021-05/2023		71	71	18		
05/2022-06/2023			20		84	<b>Total</b>
<b>Total</b>	20	193	201	18	84	<b>432</b>

Pour l'année 2022-2023 les analyses multi-résidus et des SDHI ont été regroupées pour l'eau et pour le sol.

### 2.2. Echantillonnage et préparation des échantillons de sol

L'échantillonnage est réalisé à l'aide d'une gouge semi-circulaire. Douze carottes de sol sont prélevées par couche de sol pour composer un échantillon composite.

Chaque échantillon de sol est ensuite tamisé à 2 mm. Une aliquote est prélevée et stockée dans un tube en plastique 'Falcon' de 50 ml. Les échantillons sont conservés au congélateur, à -18°C dans le noir avant analyse.

### 2.3. Échantillonnage de l'eau de percolation

L'eau de percolation s'écoule gravitairement dans un tuyau en PEHD (Polyéthylène Haute Densité) du lysimètre à une chambre de visite où elle est stockée dans des bidons en PEHD totalisant une capacité minimum de 40 litres.

Une fois par mois ou, si nécessaire (lors de périodes très pluvieuses) lorsque ce bidon est quasiment rempli, un échantillon est prélevé et le volume d'eau est mesuré avant de vider le bidon.

Les échantillons d'eau sont stockés dans des bouteilles en verre ambré pour l'analyse multi résidus et dans des tubes en plastique pour l'analyse du glyphosate. Ils sont conservés au frigo à 4°C avant analyse.

## 3. Développement d'une nouvelle méthode multi-résidus

### 3.1. Les molécules suivies dans le sol

Suite aux conclusions du Comité d'accompagnement lors de la dernière réunion de la première triennale Sol-Phy-Ly, il a été décidé de travailler sur de nouvelles molécules.

Dans un premier temps, au cours de l'été 2021, une méthode d'analyse de sol regroupant toutes les molécules SDHI a été développée. La validation de cette méthode a permis d'analyser les échantillons de sols prélevés à partir de juin 2020 ainsi que les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres pendant l'hivers 2021-2022.

Les molécules suivies ainsi que leur limite de quantification sont renseignées ci-dessous (tableau 6).

**Tableau 6. Molécules SDHI suivies et limites de quantification (LOQ).**

	LOQ ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )
Benzovindylflupyr	0,6
Bixafen	0,3
Boscalid	0,5
Fluopyram	0,1
Flutolanil	0,3
Fluxapyroxad	0,7
Inpyrfluxam	0,1
Isofetamid	0,7
Isopyrazam	0,3
Penflufen	0,3
Penthiopyrad	0,3
Pydiflumetofen	0,2
Sedaxane SYN508210	0,6

Au printemps 2022, une nouvelle méthode a été développée incluant les SDHI ainsi que les autres molécules suggérées par le comité d'accompagnement et des molécules suivies depuis 2018 fréquemment retrouvées dans les sols et/ou les eaux. Cette liste est présentée ci-dessous (tableau 7).

Les limites de quantification sont différentes d'une liste à l'autre car le développement d'une méthode multi-résidus est toujours un compromis pour parvenir à analyser le mieux possible l'ensemble des molécules recherchées.

En fonction de cette liste de molécules, il est plus ou moins facile d'abaisser les limites de quantification.

**Tableau 7. Liste des nouvelles molécules suivies dans le cadre du projet Sol-Phy-Ly.**

	LOQ ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )		LOQ ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )		LOQ ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )		LOQ ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )
2,6 dichlorobenzamide	1,0	Cyantraniliprole	0,7	Isofetamid	1,4	Pydiflumetofen	0,5
Aclonifen	2,0	Difenoconazole	0,3	Isopyrazam	0,5	Pyraclostrobine	0,5
Benzovindylflupyr	1,2	Epoxiconazole	0,5	Mefentrifluconazole	1,0	Sedaxane	1,2
Bixafen	0,6	Ethofumesate	0,5	Metamitron	0,5	Sulfoxaflor	2,5
Boscalid	1,1	Flufenacet	0,3	Metolachlor	0,5	Terbuthylazine	0,5
Chlorantraniliprole	0,5	Fluopyram	0,5	Penflufen	0,6	XDE-208 Urea (métabolite du sulfoxaflor)	1,0
Chloridazon	0,5	Flutolanil	0,5	Penthiopyrad	0,6		
Clomazone	0,5	Fluxapyroxad	1,0	Phenmedipham	0,5		
Clothianidin	1,0	Inpyrfluxam	0,5	Prosulfocarb	0,5		

*Cases vertes : molécules suivies également lors de la première triennale Sol-Phy-Ly*

Au printemps 2023 (le 17 mars), six herbicides ont été appliqués sur les parcelles au-dessus des lysimètres pour évaluer leur efficacité ainsi que leur potentiel de lixiviation. Une méthode d'analyse a été développée pour le suivi de ces molécules.

Le tableau 8 renseigne les limites de quantification des molécules étudiées. Des prélèvements de sol ont été effectués tout de suite après traitement, puis deux fois par semaine pendant deux semaines, puis une fois par semaine afin de suivre la décroissance des concentrations de ces molécules dans le sol. Ces molécules ont été ajoutées à la liste des molécules suivies dans l'eau à partir du 17 mars.

**Tableau 8. Liste des molécules herbicides suivies en 2023 dans les échantillons de sol.**

	LOQ ( $\mu\text{g.kg}^{-1}$ )
Cloquintocet-mexyl	0,20
Florasulam	0,25
Halauxifen-methyl	0,25
Metsulfuron-methyl	0,25
Propaquizafop	0,50
Pyraflufen-ethyl	0,50



### 3.2. Les molécules suivies dans l'eau

La méthode d'analyse des échantillons d'eau a été revue et modifiée pour analyser des molécules déjà suivie depuis 2018 ainsi que les SDHI, puis, à partir du 17 mars 2023, les herbicides testés cette année (tableau 9).

**Tableau 9. Liste des nouvelles molécules suivies par la méthode multi en électrospray positif dans les échantillons d'eau.**

	LOQ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )		LOQ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )		LOQ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )		LOQ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
2,6 dichlorobenzamide	0,10	Cyantraniliprole	0,20	Isopyrazam	0,10	Sedaxane SYN211	0,05
Aclonifen	0,20	Difenoconazole	0,05	Mefentrifluconazole	0,25	Sulfoxaflor	2,00
Benzovindylflupyr	0,10	Epoxiconazole	0,05	Metolachlor	0,05	Terbutylazine	0,05
Bixafen	0,10	Ethofumesate	0,10	Penflufen	0,05	XDE-208 Urea (métabolite du sulfoxaflor)	0,10
Boscalid	0,10	Flufenacet	0,05	Penthiopyrad	0,05	Cloquintocet-mexyl*	0,10
Carboxine	1,00	Fluopyram	0,05	Phenmedipham	0,50	Florasulam*	0,15
Chlorantraniliprole	0,10	Flutolanil	0,05	Prosulfocarb	0,05	Halauxifen-methyl*	0,05
Chloridazon	0,02	Fluxapyroxad	0,05	Pydiflumetofen	0,10	Metsulfuron-methyl*	0,05
Clomazone	0,05	Inpyrfluxam	0,03	Pyraclostrobin	0,08	Propaquizafop*	0,15
Clothianidin	0,10	Isofetamid	0,10	Sedaxane SYN210	0,05	Pyraflufen-ethyl*	0,05

Cases vertes : molécules suivies également lors de la première triennale Sol-Phy-Ly

\* : Herbicides suivi à partir du 17 mars 2023

Le tableau 10 renseigne les limites de quantification pour trois molécules suivies dans les eaux pour les échantillons du 27 avril, du 16 mai et du 16 juin 2023.

**Tableau 10. Liste des nouvelles molécules suivies par la méthode multi en électrospray négatif dans les échantillons d'eau.**

	LOQ ( $\mu\text{g.L}^{-1}$ )
Bentazone	0,01
Metazachlor ESA	0,05
Metolachlor ESA	0,05

## 4. Suivi des PPP dans le sol et dans l'eau

---

### 4.1. Introduction

Au cours de cette seconde phase (2021 – 2024) de la convention, le regard posé sur les résultats ne sera plus vertical (c-à-d par lysimètre, toutes matières actives confondues) comme lors de la première phase (2018 – 2021) mais bien horizontal (c-à-d par matière active, tous lysimètres confondus). Cette évolution (entamée lors de la présentation du rapport final de la première phase) dans l'approche s'appuie sur un constat et un objectif.

**Le constat** : nous disposons d'une chronique d'application de PPP de plus de dix ans sur les huit lysimètres suivis. Par ailleurs, nous disposons de résultats d'analyses d'échantillons de sol prélevés depuis 2017 sur les parcelles équipées d'un lysimètre en Hesbaye et 2018 sur les parcelles équipées de lysimètres sur le site de Gembloux Agro-Bio Tech. De ce fait, par matière active, nous disposons de plus en plus de répétitions d'observations 'apports PPP – analyses PPP dans le sol'.

**L'objectif** : évaluer le potentiel du dosage des résidus de PPP dans les sols tant comme indicateur d'usage que comme indicateur environnemental.

La suite de ce document va donc s'atteler à établir

- un lien entre l'usage d'un PPP, l'évolution de sa concentration dans le sol (teneur) au cours des semaines, des mois, voire des années qui suivent son application et
- un bilan entre la/les quantité(s) appliquée(s) lors du traitement et la quantité collectée à la base des lysimètres.

Les résultats sont présentés par matière active (et ses éventuels métabolites) et par parcelle comme illustré à la figure ci-dessous. Le lecteur doit être très attentif au coefficient multiplicateur ( $10^{\pm x}$ ) des unités. Dans l'exemple présenté, l'ordre de grandeur de la teneur est 100 fois moindre que la dose appliquée et la lixiviation est 100 fois moindre que la teneur.

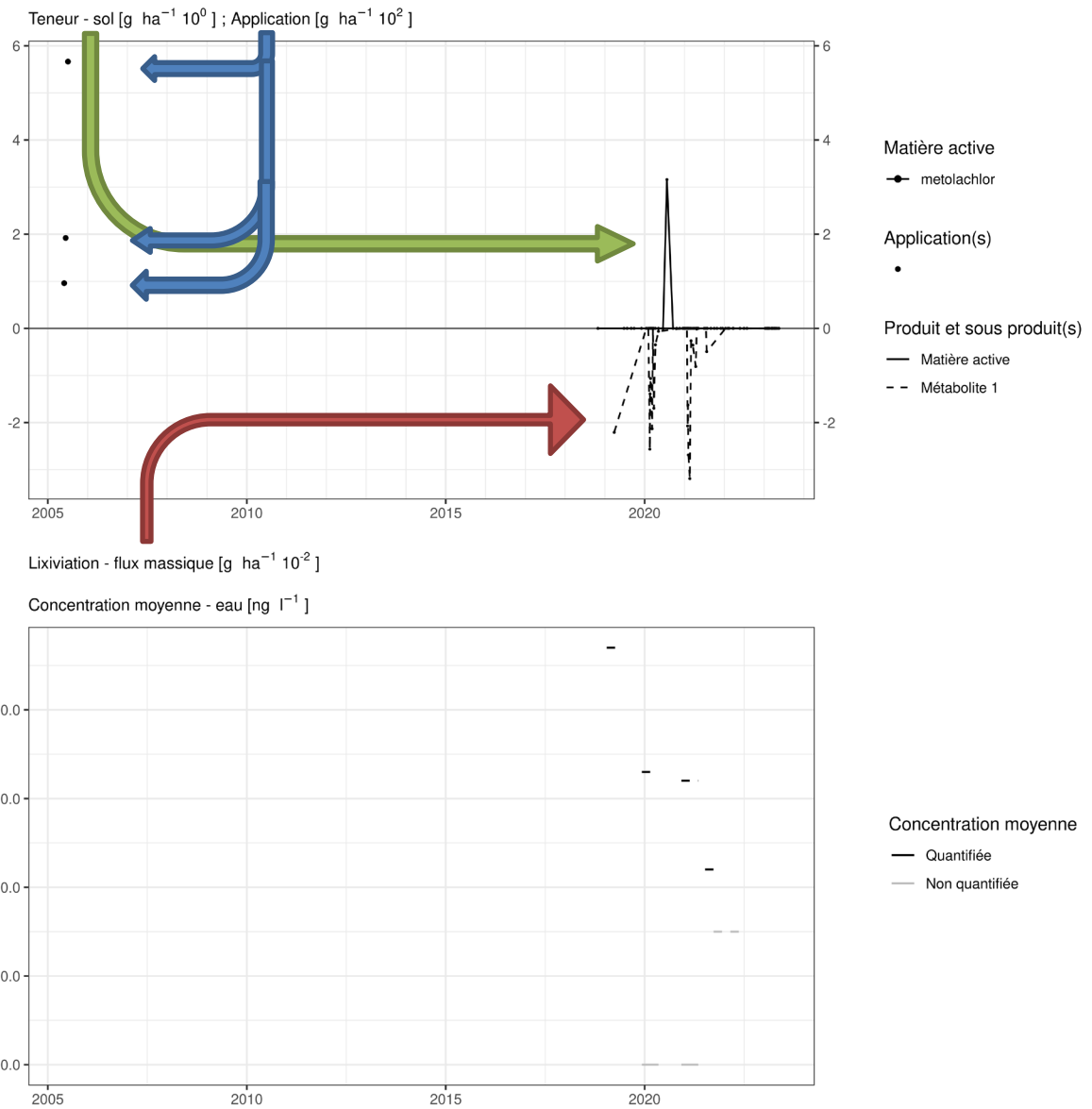
Les calculs de teneur en g/ha ont été fait sur la somme des couches de sol échantillonnées. En effet, sur les parcelles Sol-Résidus, des prélèvements sont réalisés par profondeur : 0-10 cm, 10-20 cm, 20-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm. En Hesbaye, les horizons prélevés sont 0-30 cm, 30-60 cm et 60-90 cm. Les résultats présentés ci-dessous sont donc représentatif d'une grande épaisseur de sol même si les concentrations mesurées peuvent beaucoup varier d'un horizon à l'autre et d'une molécule à l'autre. En effet, pour certaines molécules la teneur est plus ou moins homogène sur l'épaisseur du sol alors que pour d'autres, seul la couche 0-30 cm en contient.

Le graphique du bas rend compte de l'éventuelle contamination moyenne lors d'une période de percolation. La conception de ce graphique a nécessité de définir des règles pour fixer les dates de début et fin de période de percolation car, ces dernières années, des reprises de drainage ont été observées lors de forts et longs épisodes pluvieux en été.

Il convient de rester attentif au fait qu'une concentration peut être associée à une lame drainante très fine ou très épaisse. Une concentration moyenne interannuelle 'visuelle' peut donc ne pas être représentative de l'impact réel sur la qualité des eaux souterraines.

Ce graphique illustre les concentrations des matières actives et des métabolites détectés. Lorsqu'il y a détection sans quantification ( $< LOQ$ ), une concentration équivalente à la moitié de la LOQ est affectée à l'échantillon concerné ; ce qui donne lieu à une *concentration moyenne non quantifiée* (en grisé dans le graphique). Si au moins une valeur est supérieure à la LOQ, la concentration moyenne au cours de la période de drainage est calculée en tenant compte de ces valeurs supérieures à la LOQ et des valeurs inférieures à la LOQ (comme expliqué précédemment). Dans ce cas de figure, le trait est noir.

Si aucun flux massique n'est observé, ce second graphique n'est pas présenté.



## 4.2. Aclonifen

L'aclonifen est un herbicide utilisé sur culture de pommes de terre et de carottes dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

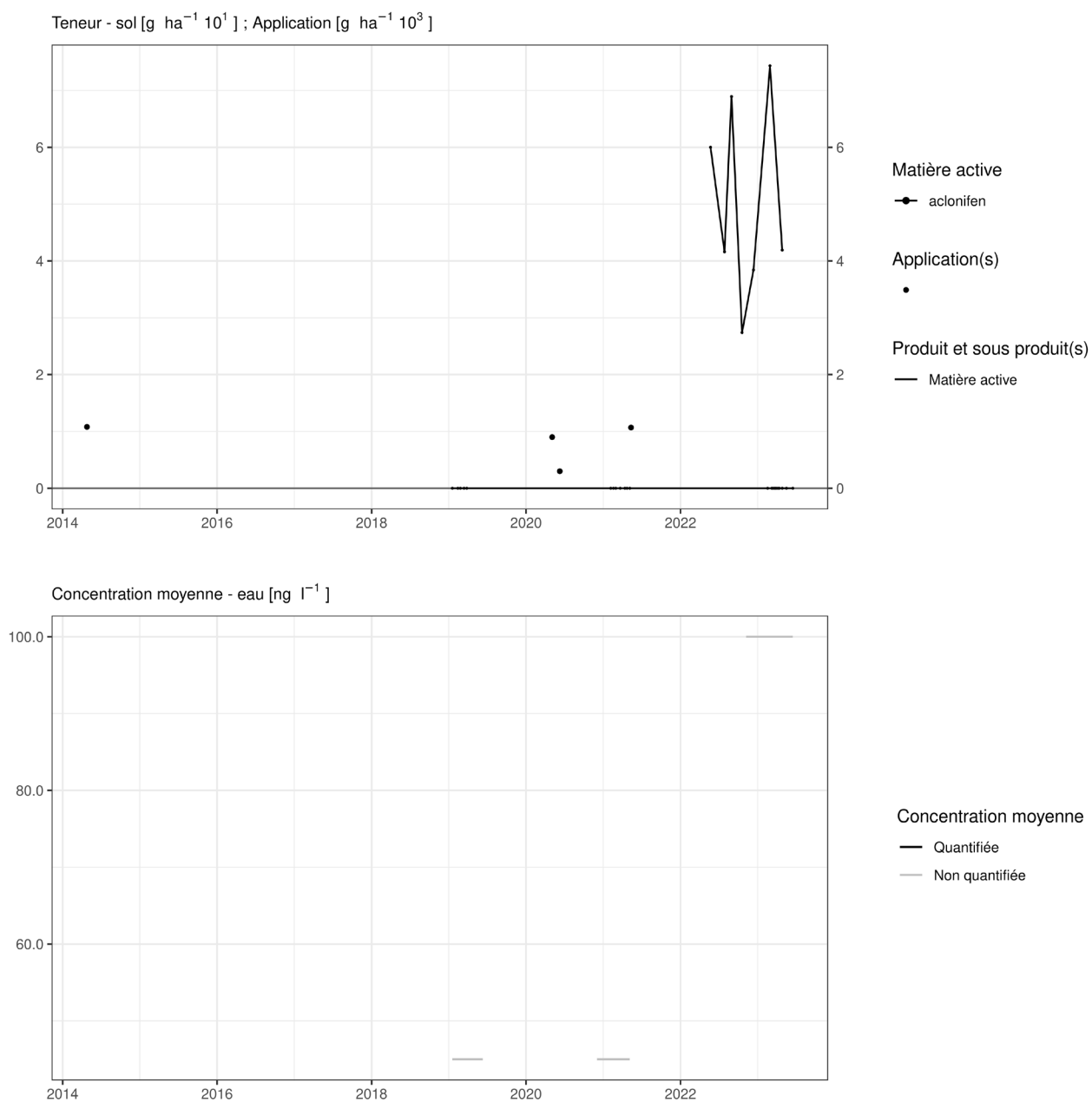
### **SOL**

Un à deux ans après traitement, les observations réalisées sur les parcelles Bovenistier, Chemin de fer et Sole 4 (figure 9 à figure 11) indiquent qu'un apport d'environ 1000 g/ha laisse dans le sol une concentration de 20 à 50 g/ha :

- sur la parcelle Bovenistier, l'apport de 1000 g/ha réalisé au printemps 2021 laisse une concentration dans le sol assez constante de l'ordre de 40 g/ha ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, le traitement de 75 g/ha réalisé en juin 2020 laisse une concentration de l'ordre de quinzaine de grammes par hectare au cours de l'hiver qui suit.

### **EAU**

Les analyses réalisées dans les échantillons d'eau révèlent des concentrations toujours inférieures à la LOQ.



**Figure 9. Applications et suivi de la teneur en aclonifen dans la parcelle Bovenistier.**

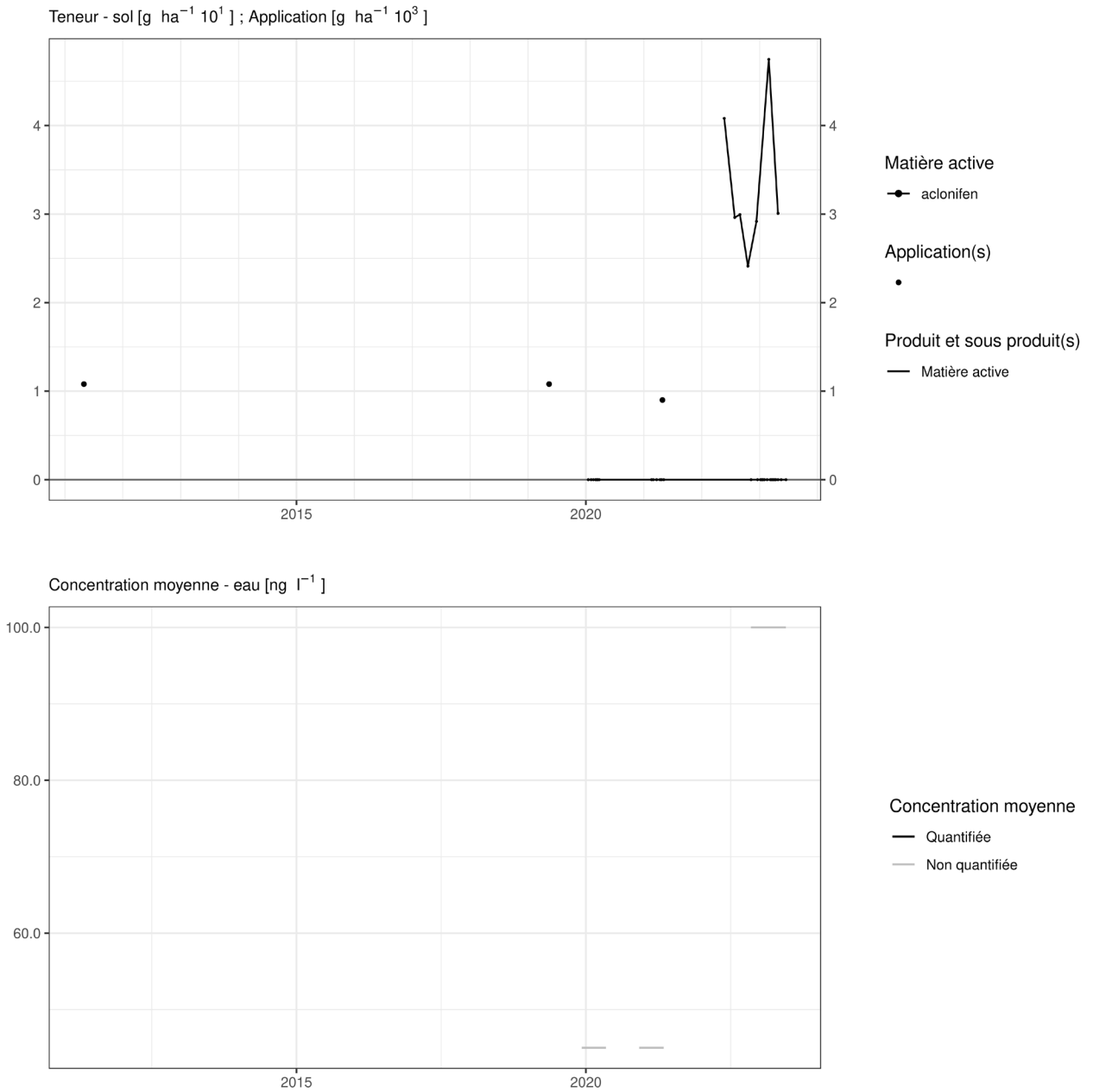
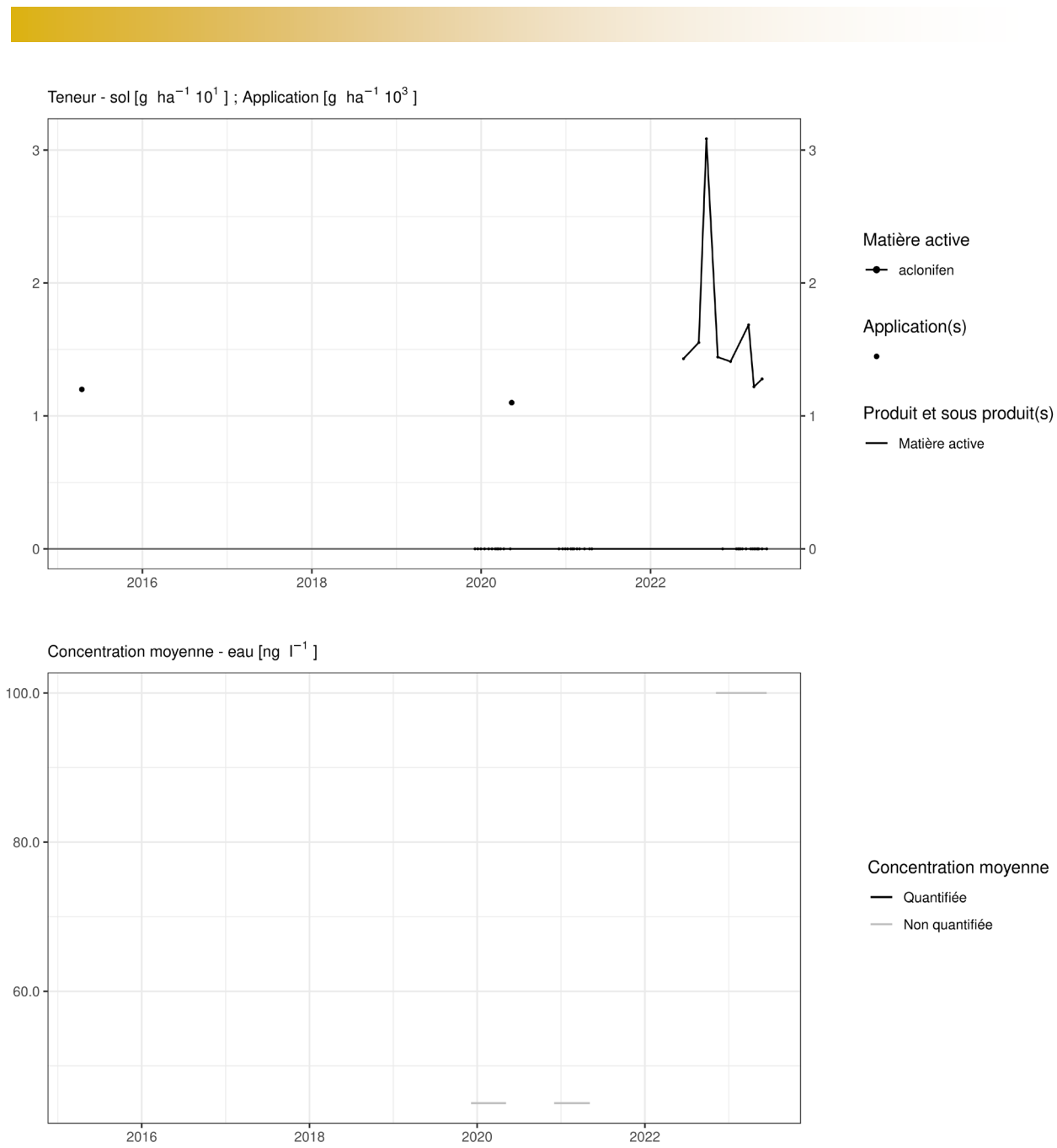


Figure 10. Applications et suivi de la teneur en aclonifen dans la parcelle Chemin de fer.



**Figure 11. Applications et suivi de la teneur en aclonifen dans la parcelle Sole 4.**

### 4.3. Benzovindiflupyr

Le benzovindiflupyr est un fongicide SDHI utilisé sur culture de froment dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

#### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 12 à 16) sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport de 75 g/ha réalisé en juin 2021 conduit en aout à une concentration dans le sol d'environ 11 g/ha, soit un peu plus de 6 g/ha de plus qu'avant le traitement ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport de 75 g/ha réalisé en juin 2020 conduit à une concentration dans le sol de l'ordre d'une vingtaine de grammes par hectare au cours de l'été qui suit.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, l'apport de 75 g/ha réalisé en juin 2021 laisse une concentration dans le sol assez constante au cours de l'hiver qui suit, de l'ordre de la quinzaine de grammes par hectare ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, le traitement de 75 g/ha réalisé en juin 2020 laisse une concentration de l'ordre de quinzaine de grammes par hectare au cours de l'hiver qui suit.

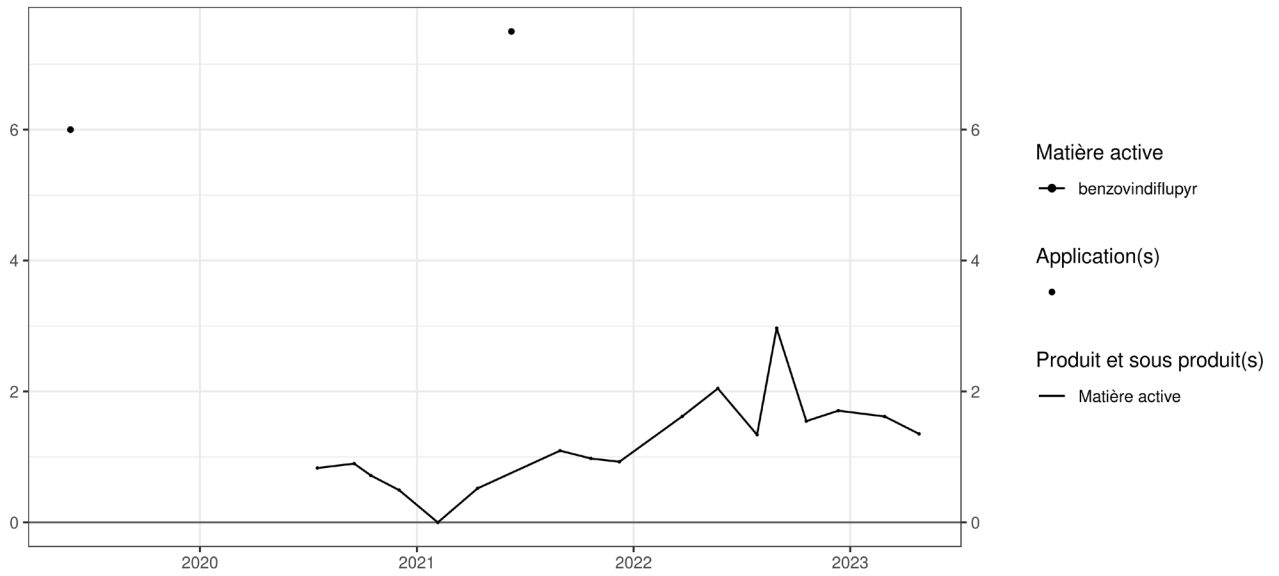
A plus long terme (deux ans) après l'apport (Haute Bova, 2019), la concentration dans le sol est inférieure à la dizaine de gramme par hectare.

#### **EAU**

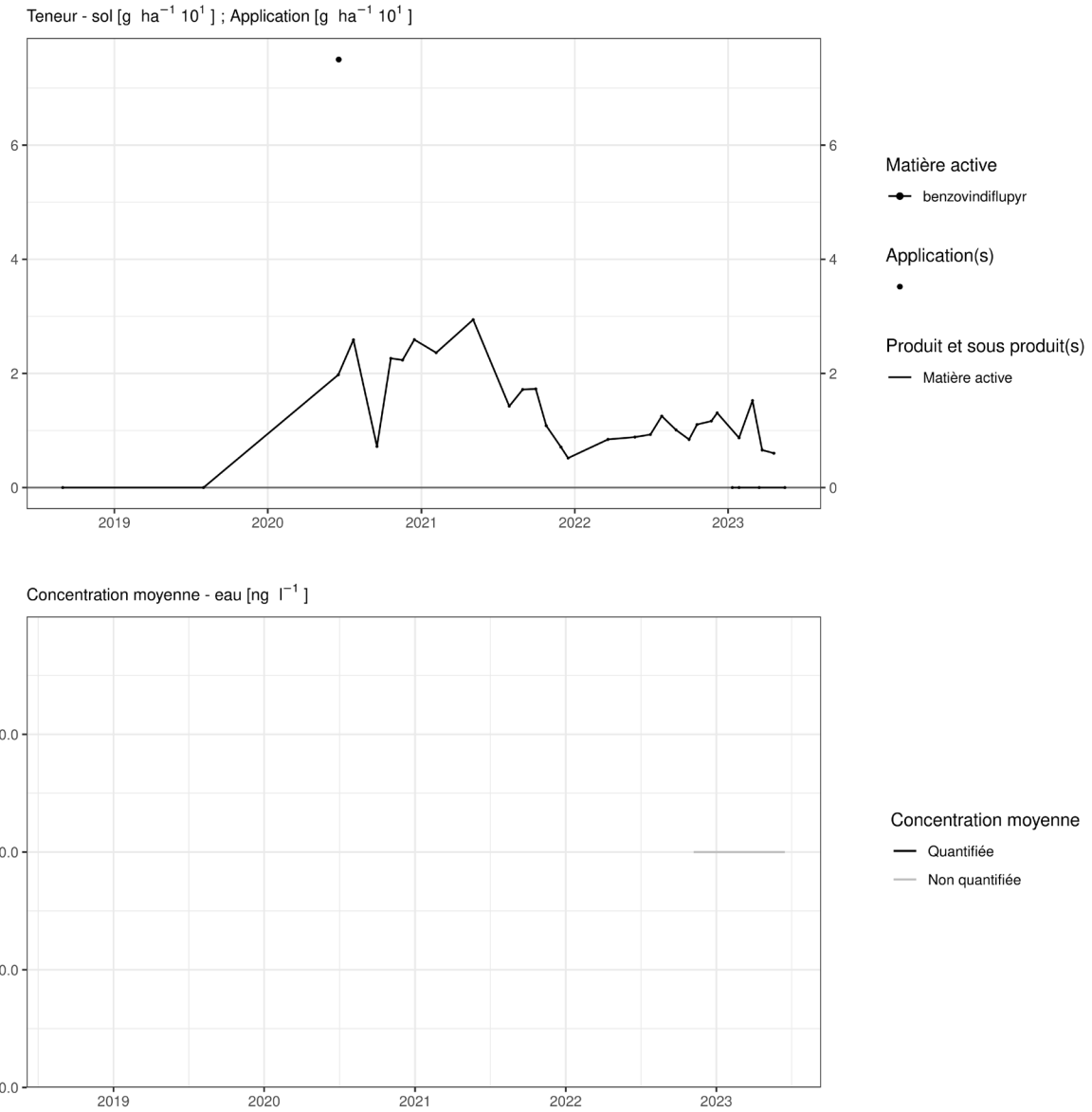
Cette matière active a été observée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres Sol-Résidus en des concentrations toujours inférieures à la LOQ. La différence de concentration moyenne entre 2022 et 2023 n'est liée qu'à une LOQ plus élevée en 2023. Dans la réalité, il est vraisemblable que la concentration moyenne n'ait guère évolué.



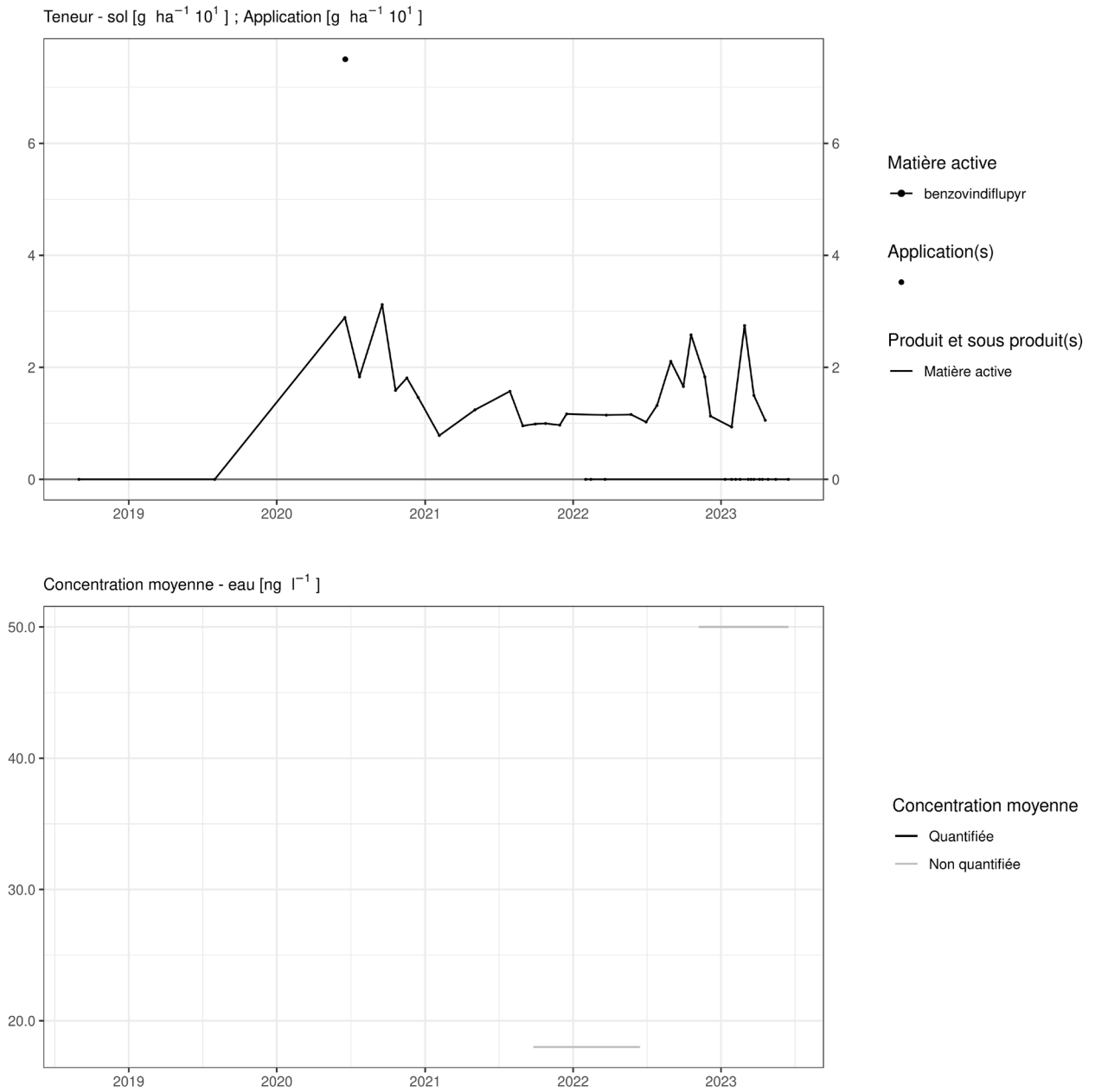
Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup> ] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup> ]



**Figure 12. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle Haute Bova.**

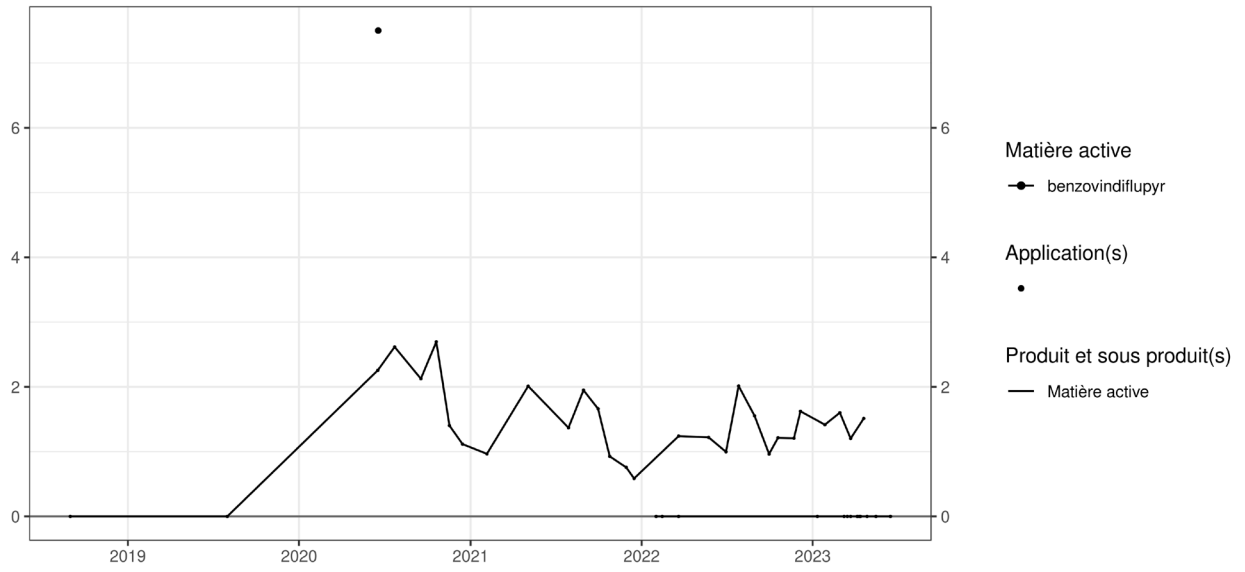


**Figure 13. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR4.**



**Figure 14. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR8.**

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

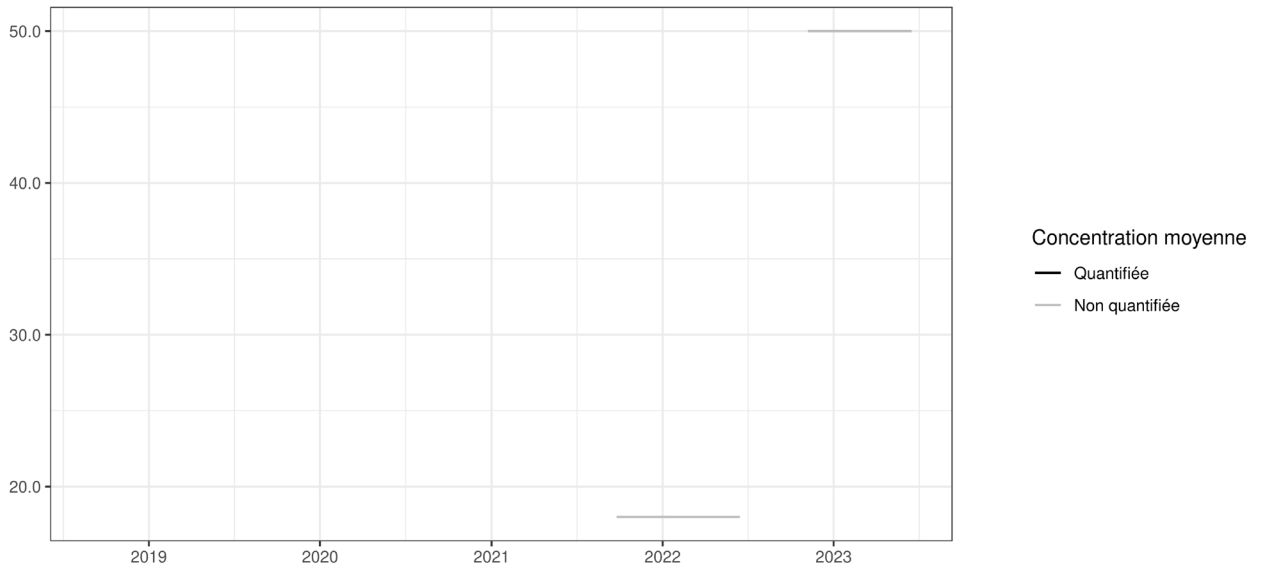
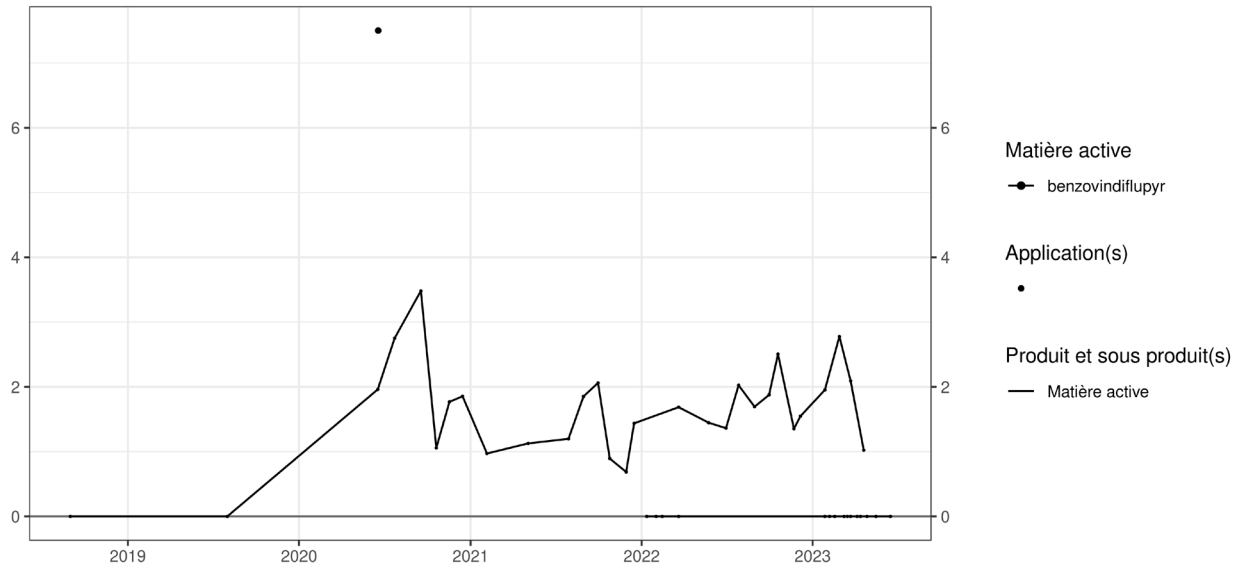


Figure 15. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR12.

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

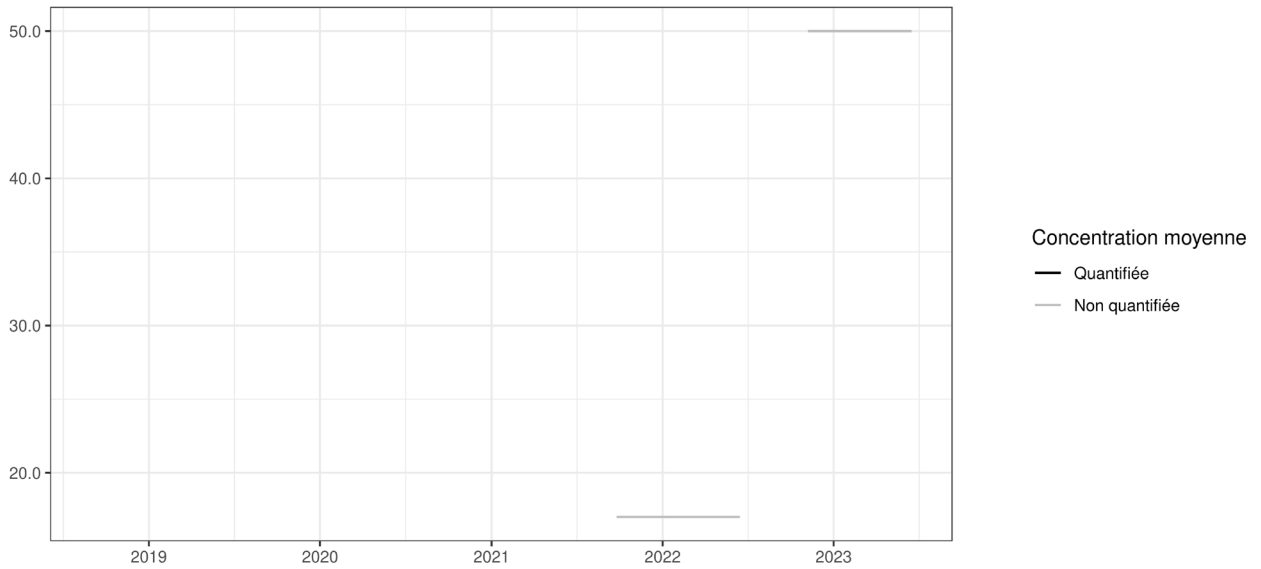


Figure 16. Applications et suivi de la teneur en benzovindiflupyr dans la parcelle SR16.

## 4.4. Bixafen

Le bixafen est un fongicide SDHI utilisé sur culture de froment dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 17 à 23) sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, un apport d'environ 75 g/ha réalisé fin mai 2020 conduit en juillet à une concentration dans le sol d'environ 80 g/ha (laissant déjà présager un résidu du traitement réalisé en 2016) ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport d'un peu moins de 100 g/ha réalisé fin mai 2018 conduit à une concentration dans le sol de l'ordre d'une centaine de grammes par hectare en aout.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, l'apport d'environ 75 g/ha réalisé fin mai 2020 laisse une concentration dans le sol en automne-hiver 2020-2021 de l'ordre de la cinquantaine de grammes par hectare ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, le traitement (un peu moins de 100 g/ha) réalisé fin mai 2018 a laissé une concentration de l'ordre de d'une centaine grammes par hectare à l'automne de la même année.

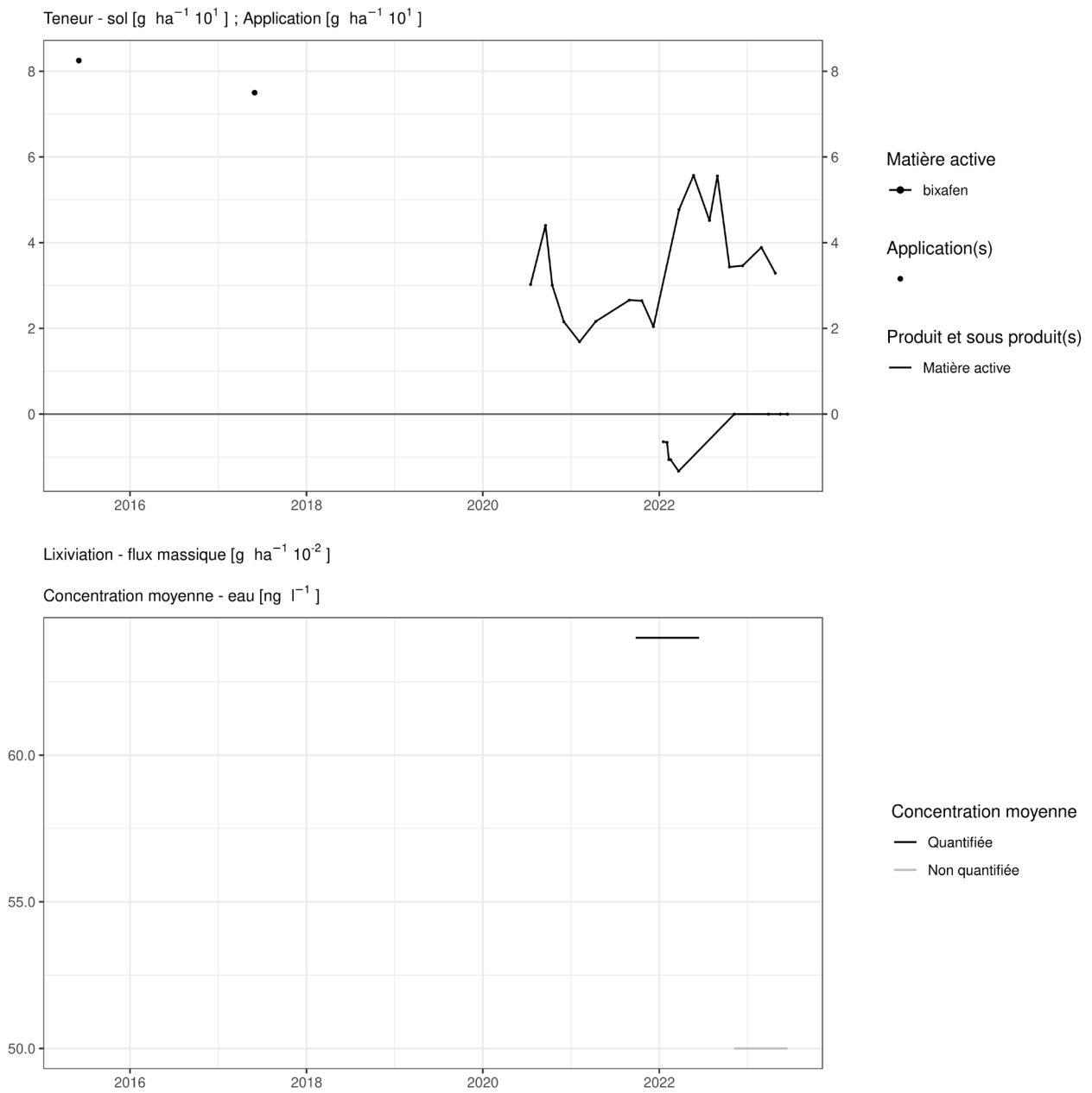
A plus long terme (plus de trois ans) après l'apport, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, deux traitements réalisés en 2015 et 2017 (pour un total d'environ 160 g/ha) sont décelés à hauteur d'une trentaine de grammes en 2020-2021 ;
- sur la parcelle Bovenistier, un traitement (un peu plus de 75 g/ha) réalisé en 2015 est décelé en 2020 et 2021 à hauteur d'une vingtaine de grammes par hectare ;

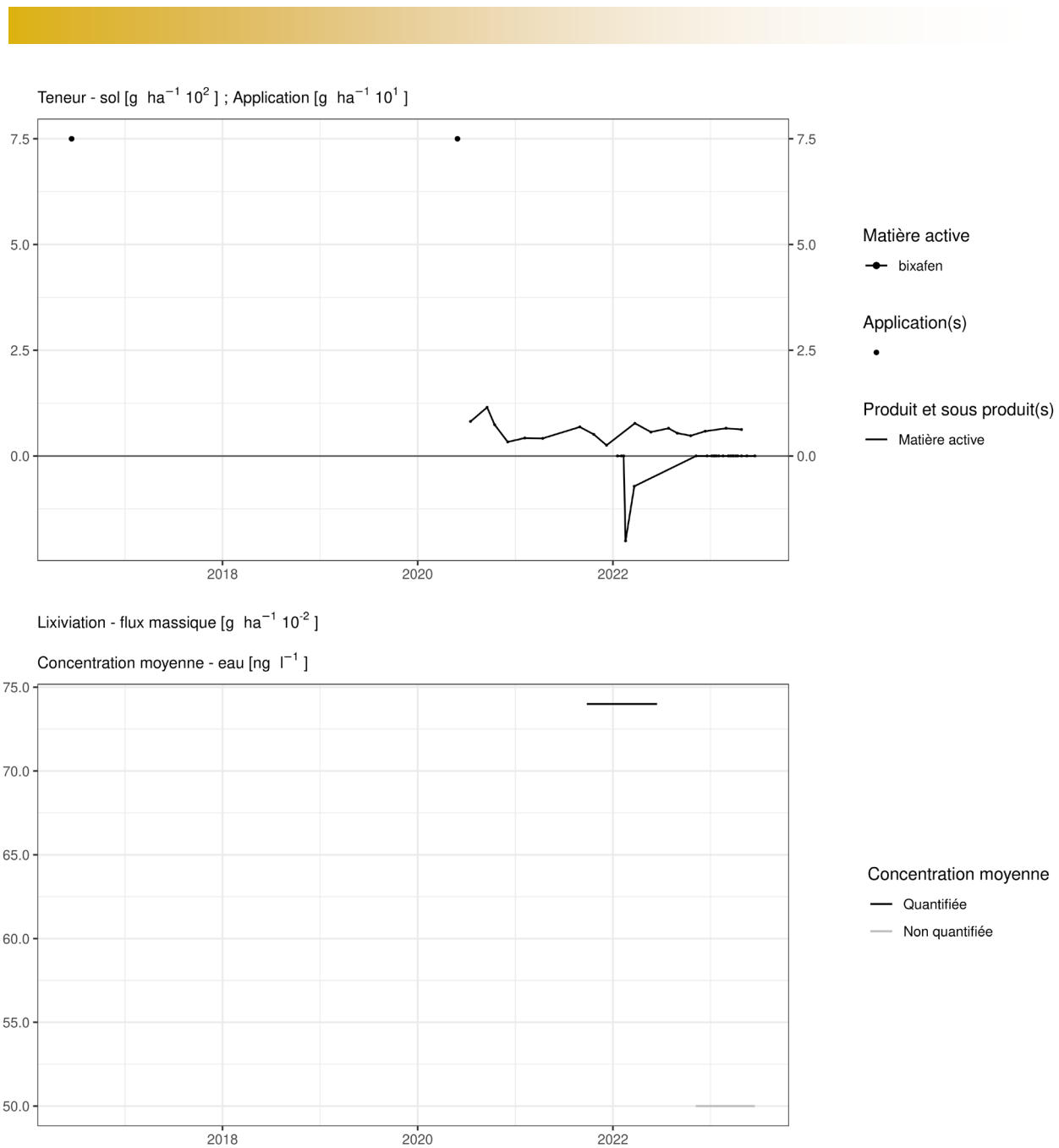
### **EAU**

Cette matière active a été observée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires de tous les lysimètres (qui reçoivent un traitement de cette matière active tous les deux ans). Le flux observé est de l'ordre de 0,03 g/ha.

Les concentrations moyennes observées par période de drainage varient de 50 (moyenne estimée car valeurs toutes inférieures à la LOQ) à 200 ng.l<sup>-1</sup>.

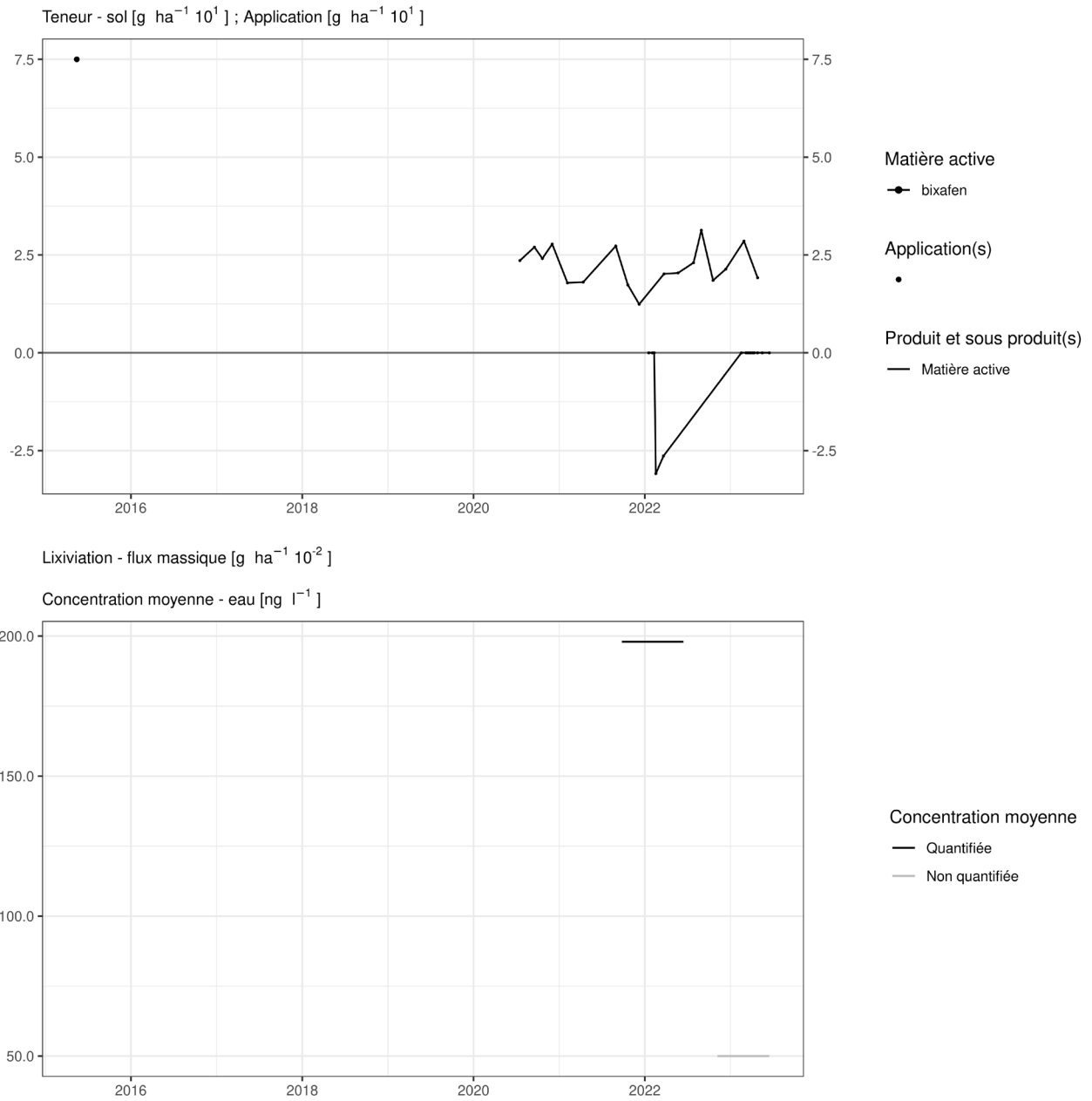


**Figure 17. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle Haute Bova.**

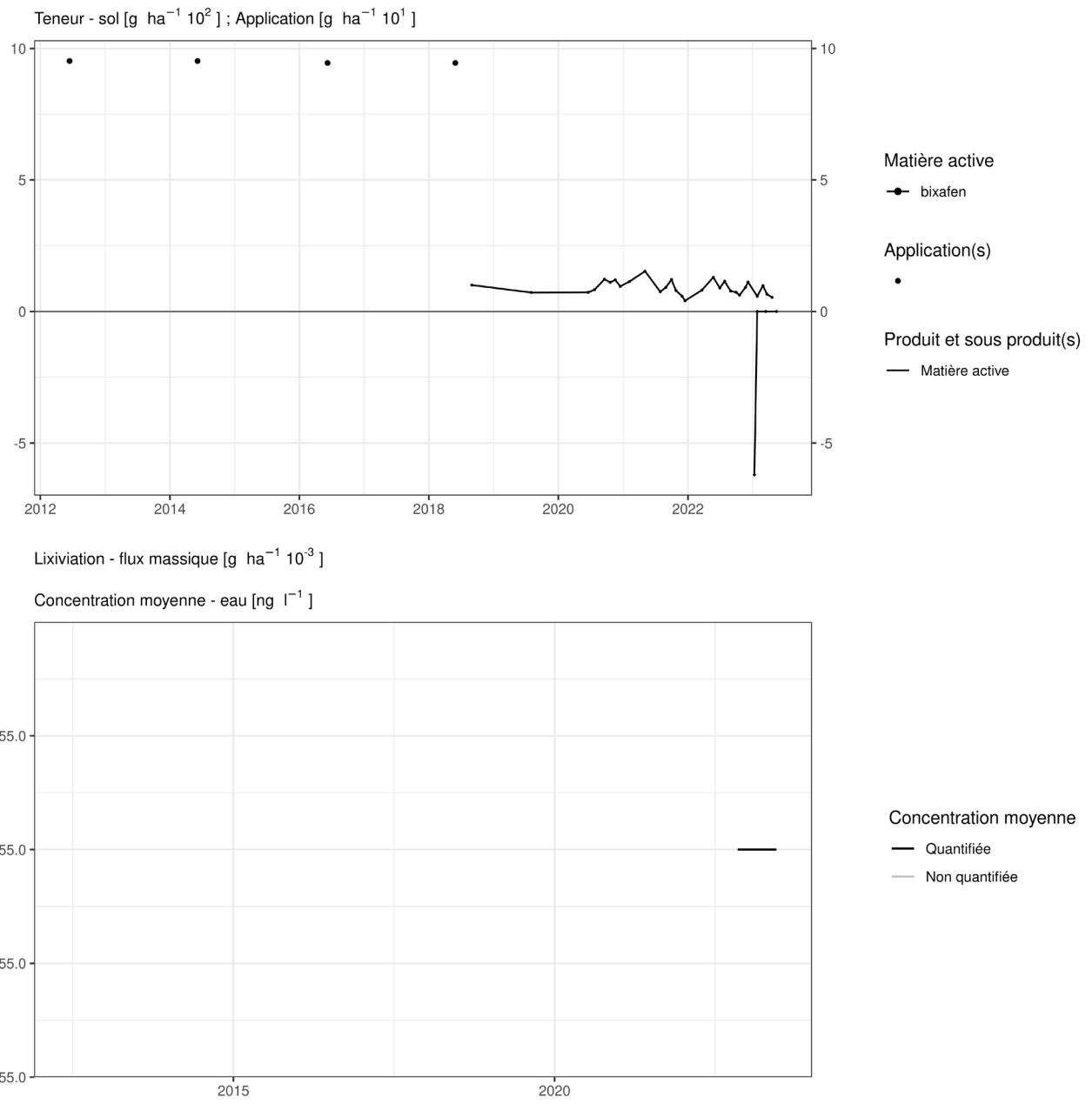


**Figure 18. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle Chemin de fer.**

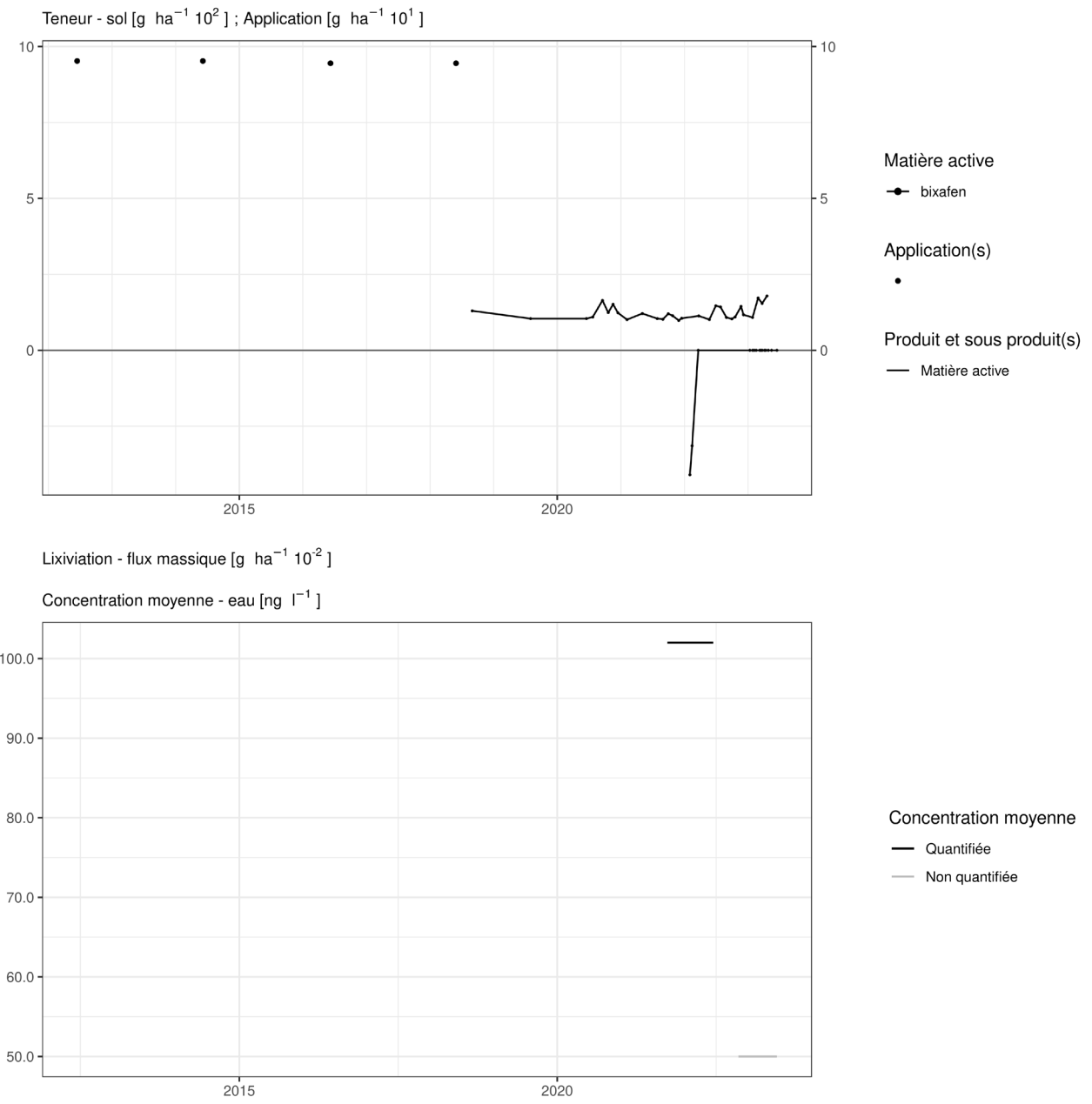




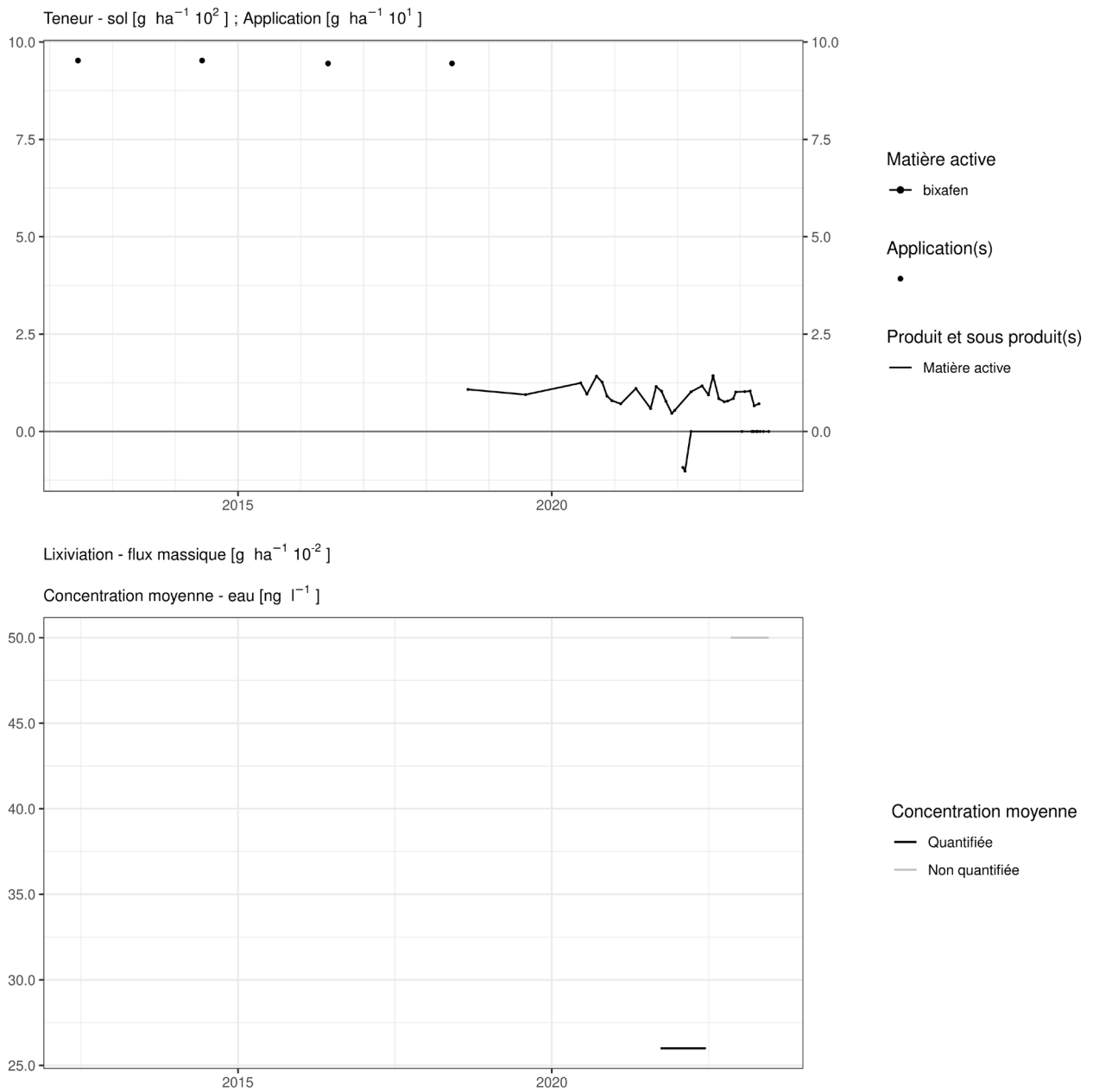
**Figure 19. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle Bovenistier.**



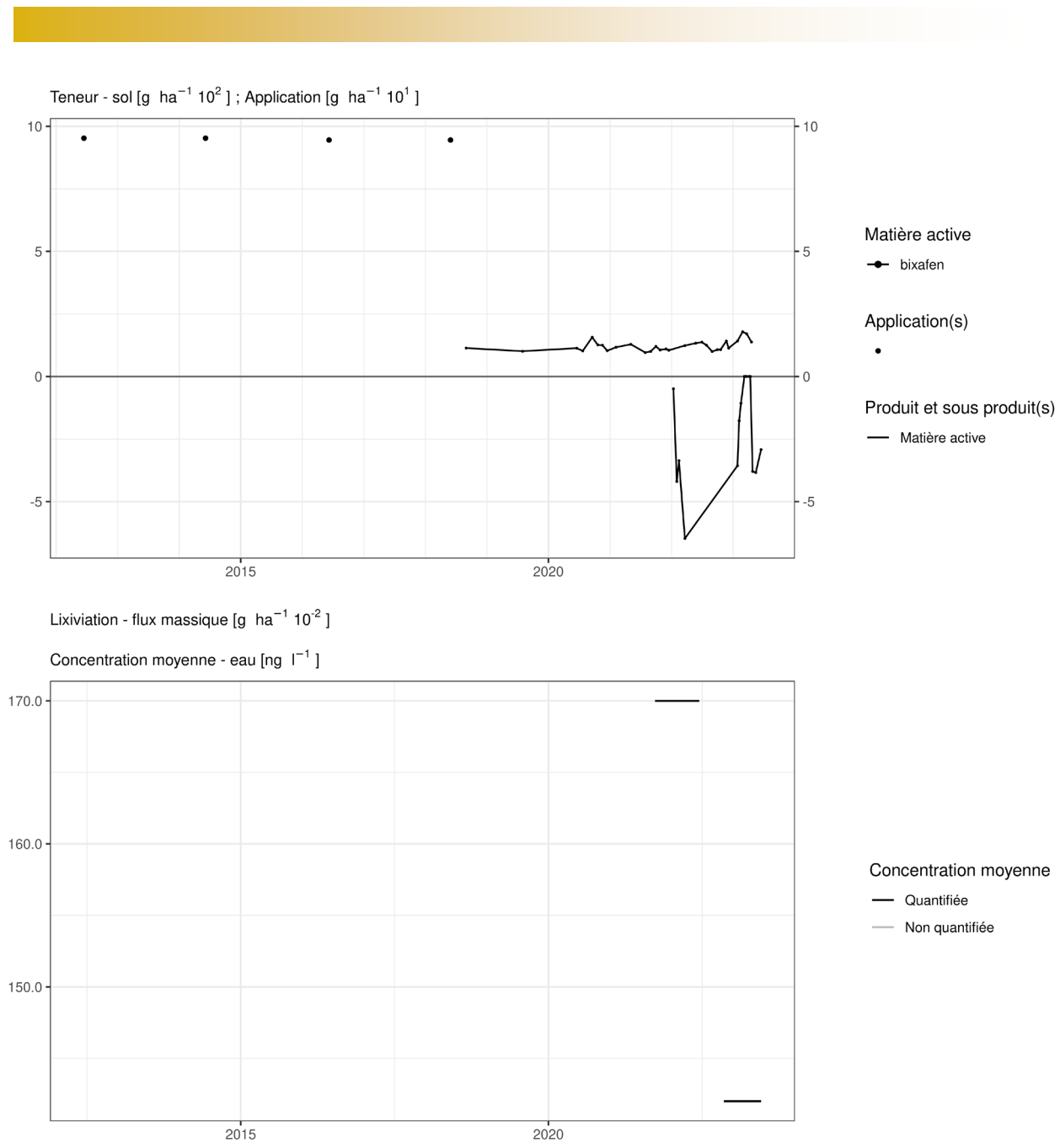
**Figure 20. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR4.**



**Figure 21. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR8.**



**Figure 22. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR12.**



**Figure 23. Applications et suivi de la teneur en bixafen dans la parcelle SR16.**

## 4.5. Boscalid

Le Boscalid est un fongicide utilisé sur culture de pomme de terre, colza, pois, poireau et haricot dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations sur la parcelle Bovenistier (figure 25) indiquent que deux apports totalisant 90 g/ha conduisent à une augmentation équivalente de concentration dans le sol.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer (figure 24), l'apport réalisé en été 2019 est toujours visible au printemps 2023 ;
- sur la parcelle Bovenistier (figure 25), les apports réalisés en été 2021 sont également toujours visibles au printemps 2023.

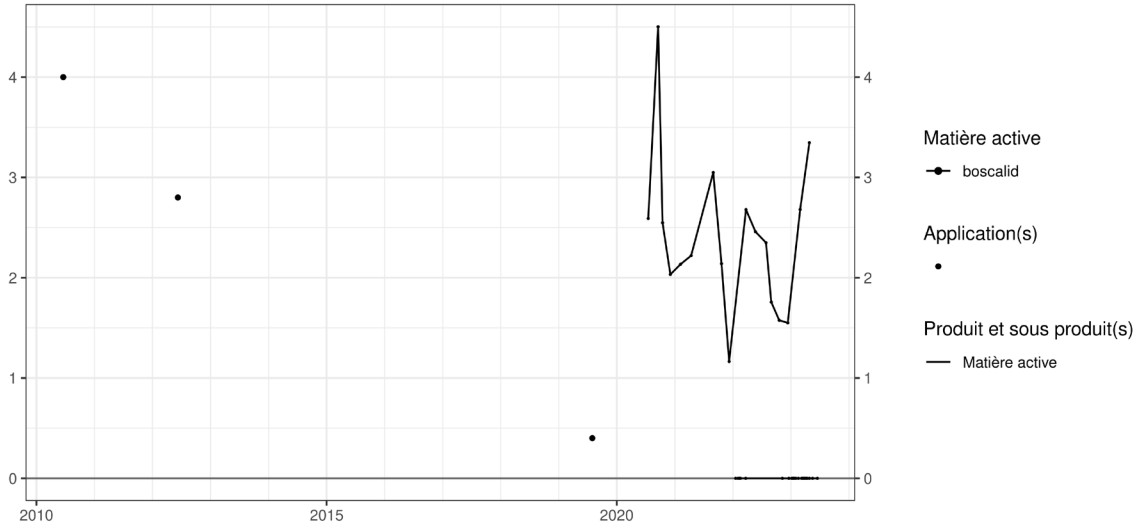
Dans les années qui suivent un apport de cette matière active, les observations (figures 25 à 29) sont les suivantes :

- sur la parcelle Bovenistier, deux apports réalisés en 2011, totalisant 900 g/ha, sont encore 'à tiers' visibles en 2021 ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport de 250 g/ha réalisé en 2009 est encore visible à une teneur d'environ 15 g/ha en 2023.

### **EAU**

Cette matière active est observée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres à des concentrations inférieures à la LOQ (100 ng.l<sup>-1</sup>).

Teneur - sol [ $\text{g ha}^{-1} 10^2$ ]; Application [ $\text{g ha}^{-1} 10^2$ ]



Concentration moyenne - eau [ $\text{ng l}^{-1}$ ]

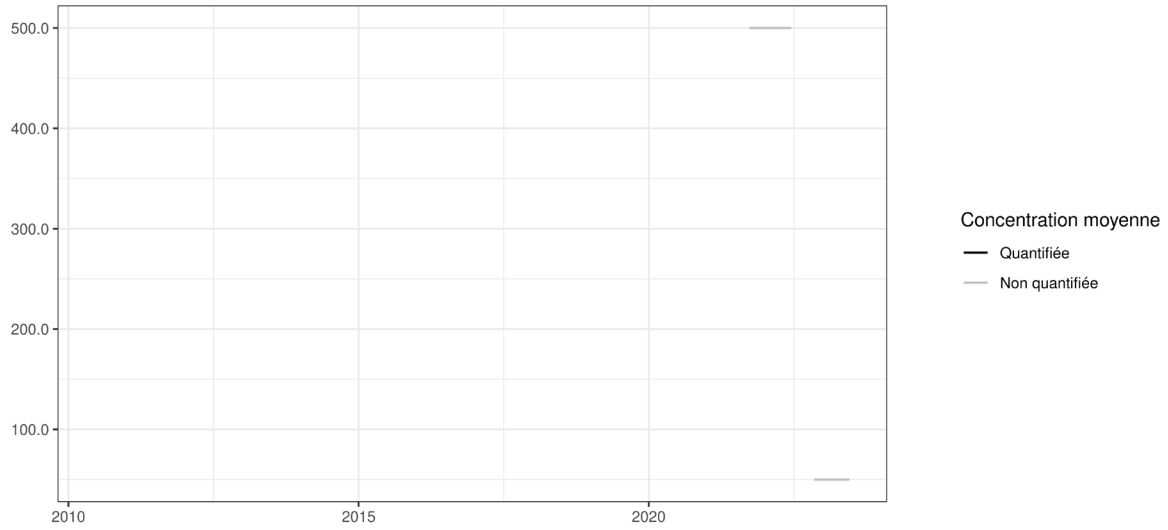
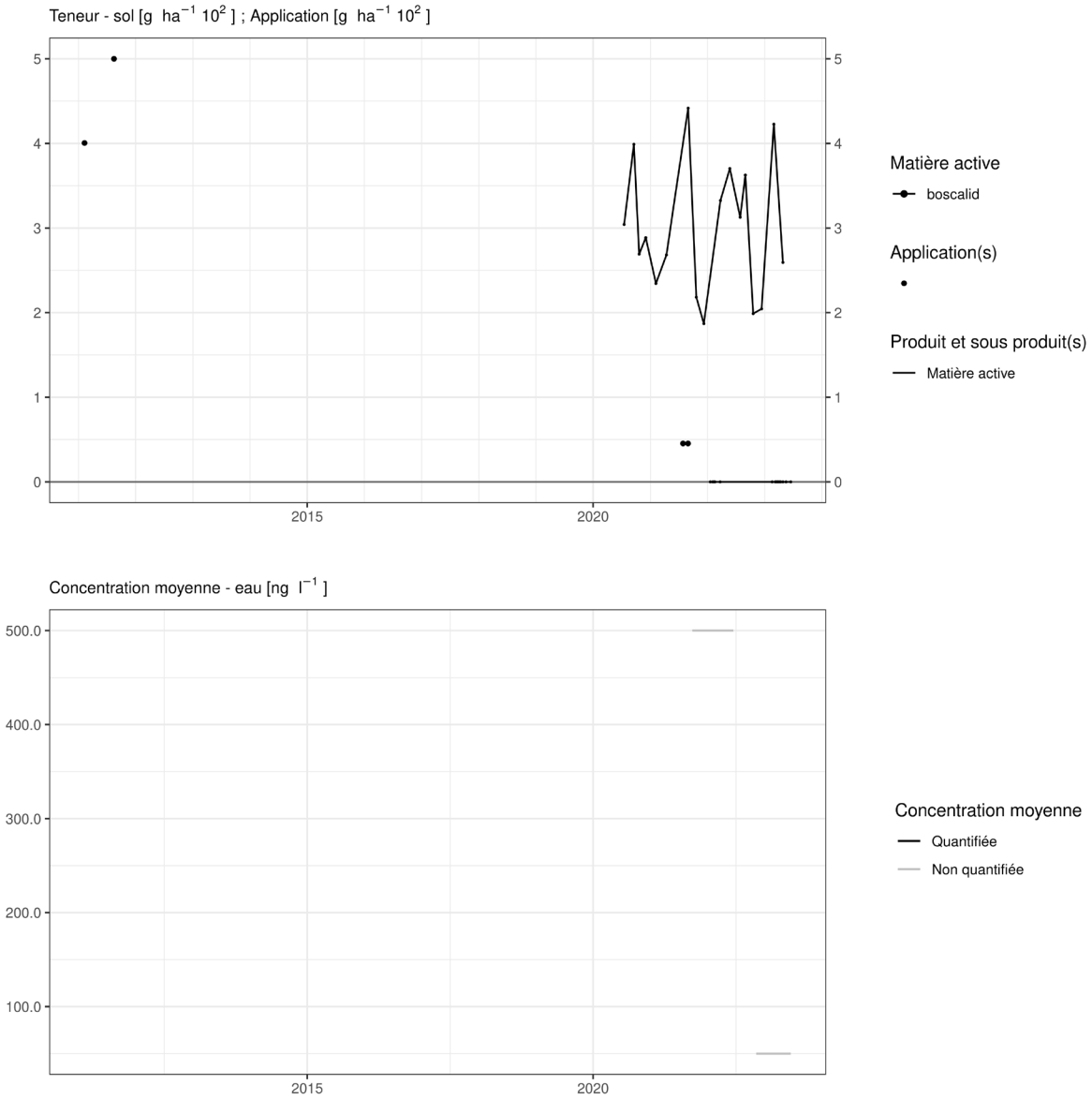
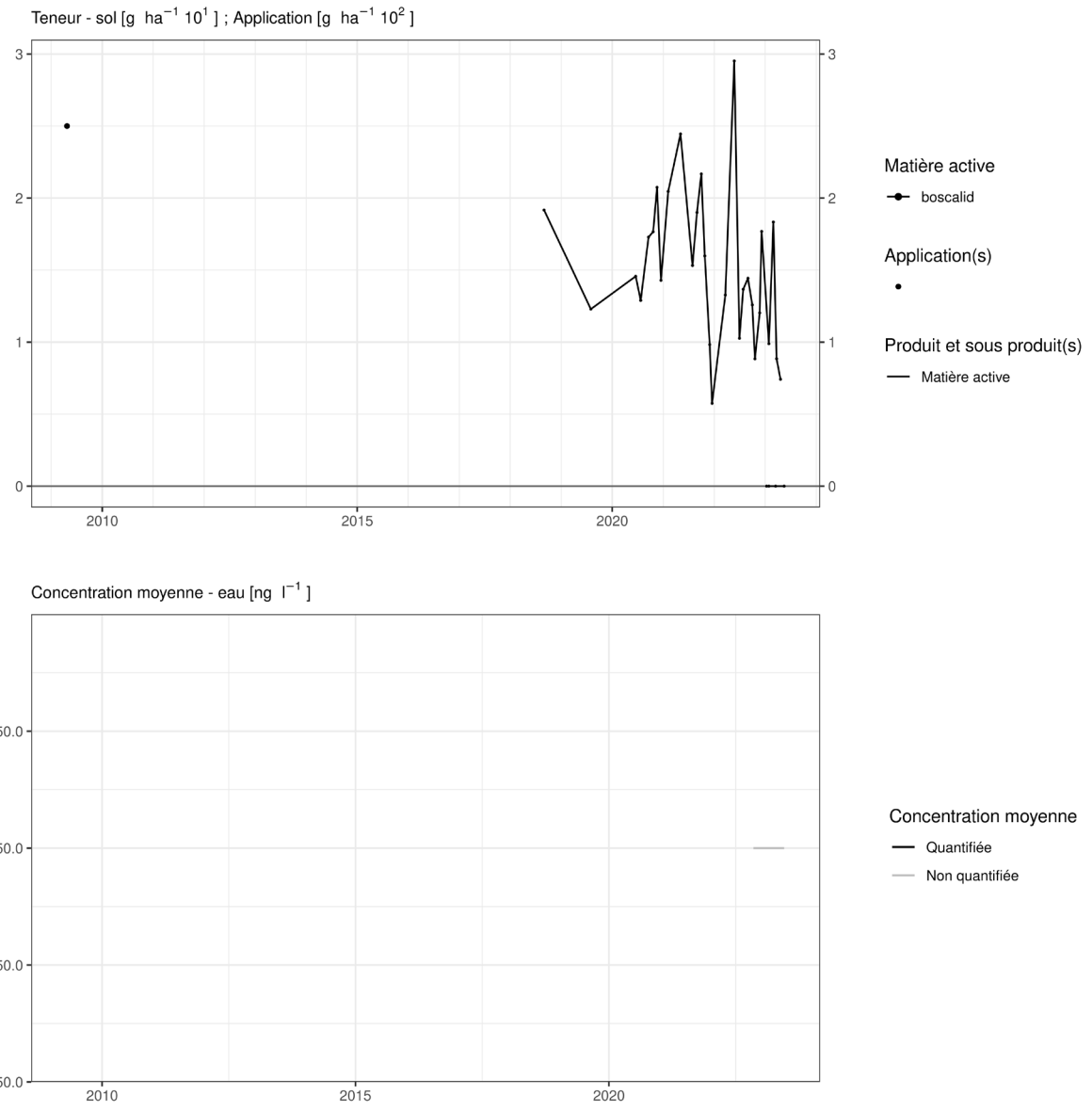


Figure 24. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle Chemin de fer.

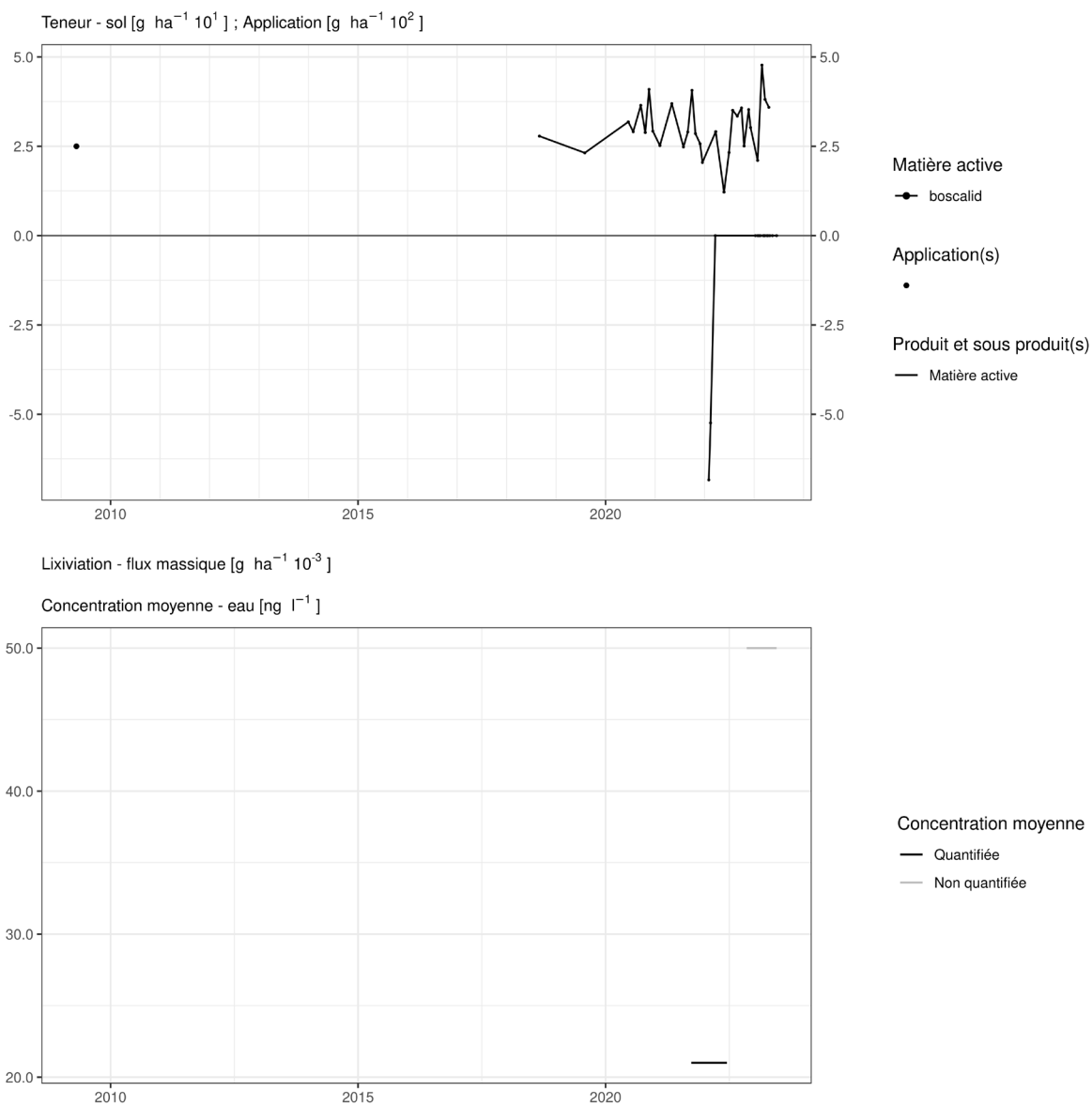


**Figure 25. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle Bovenistier.**

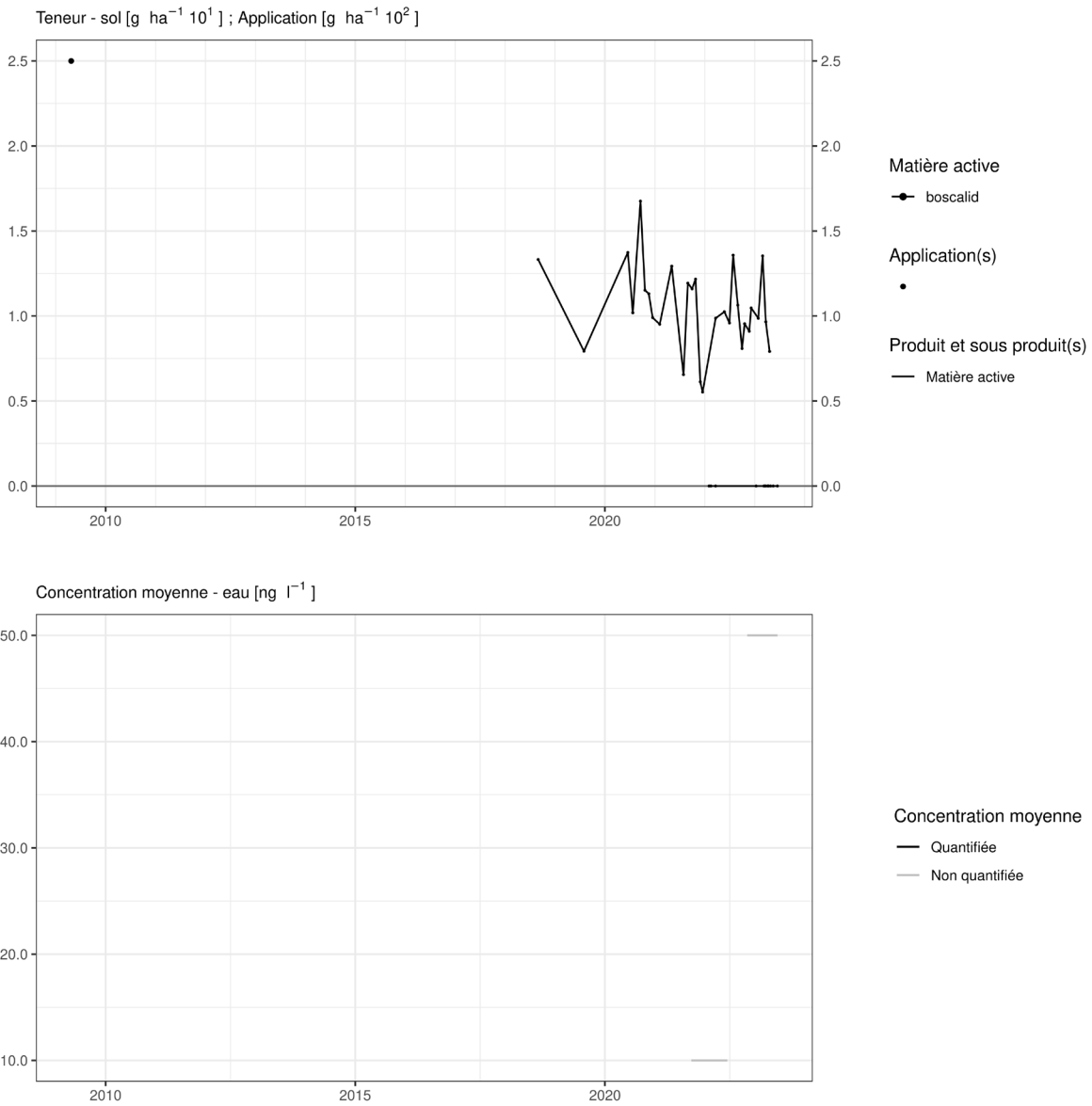




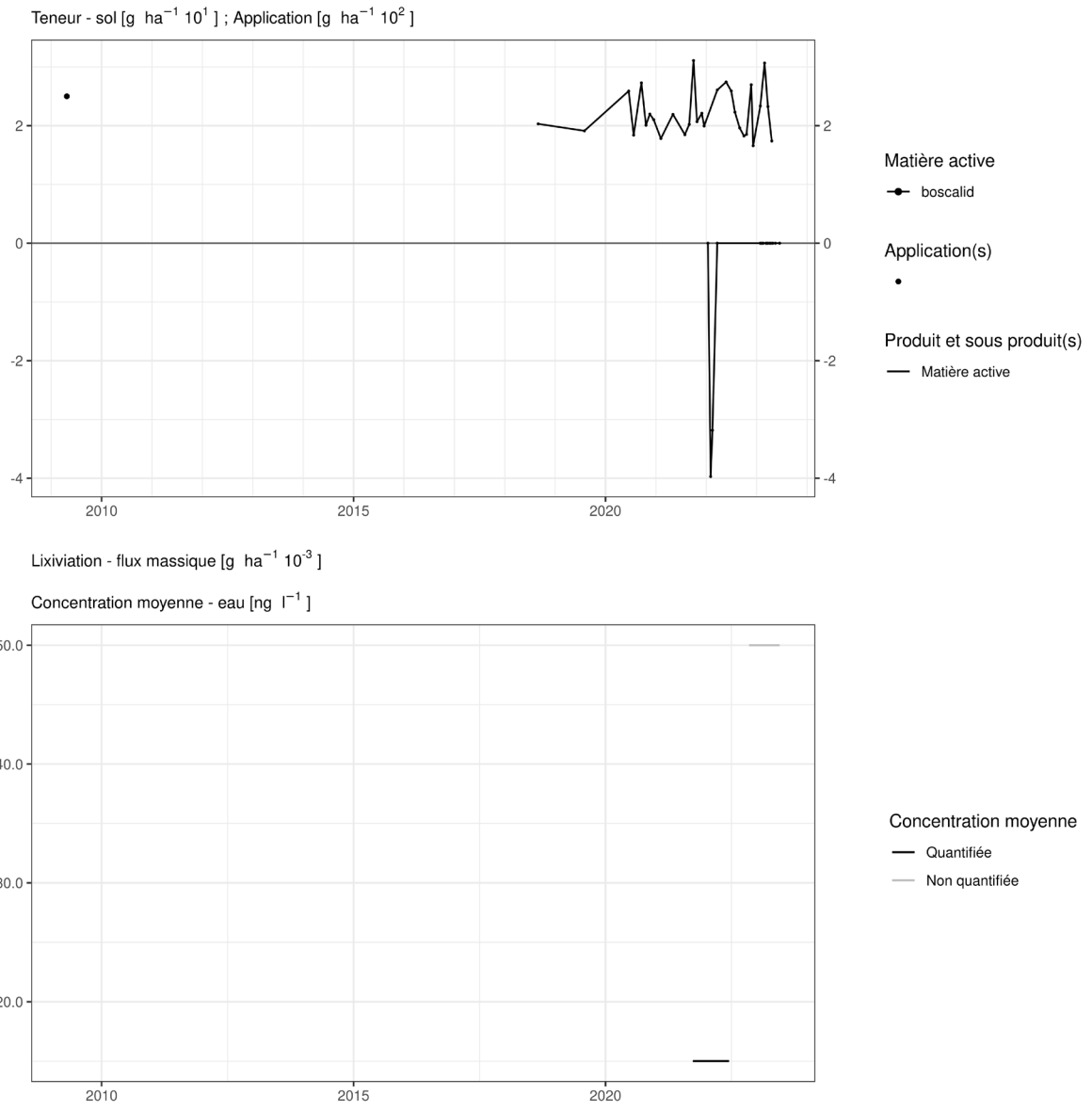
**Figure 26. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR4.**



**Figure 27. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR8.**



**Figure 28. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR12.**



**Figure 29. Applications et suivi de la teneur en boscalid dans la parcelle SR16.**

## 4.6. Chlorantraniliprole

Le chlorantraniliprole est un insecticide appliqué sur culture de pommes de terre dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

Un à deux ans après l'apport, les observations réalisées dans la parcelle Bovenistier (figure 30) et Chemin de fer (figure 31) indiquent un niveau de concentration de l'ordre de la moitié de l'apport.

Cette matière active n'a pas été quantifiée dans les échantillons d'eau collectés à l'exutoire de ces deux lysimètres.

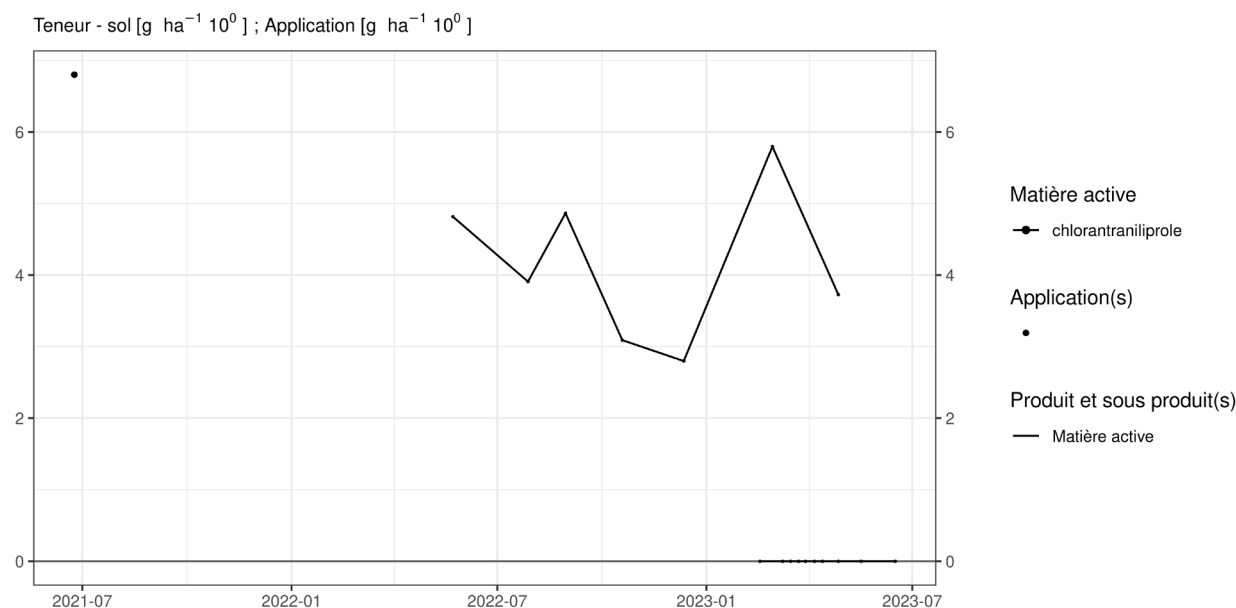


Figure 30. Applications et suivi de la teneur en chlorantraniliprole dans la parcelle Bovenistier.

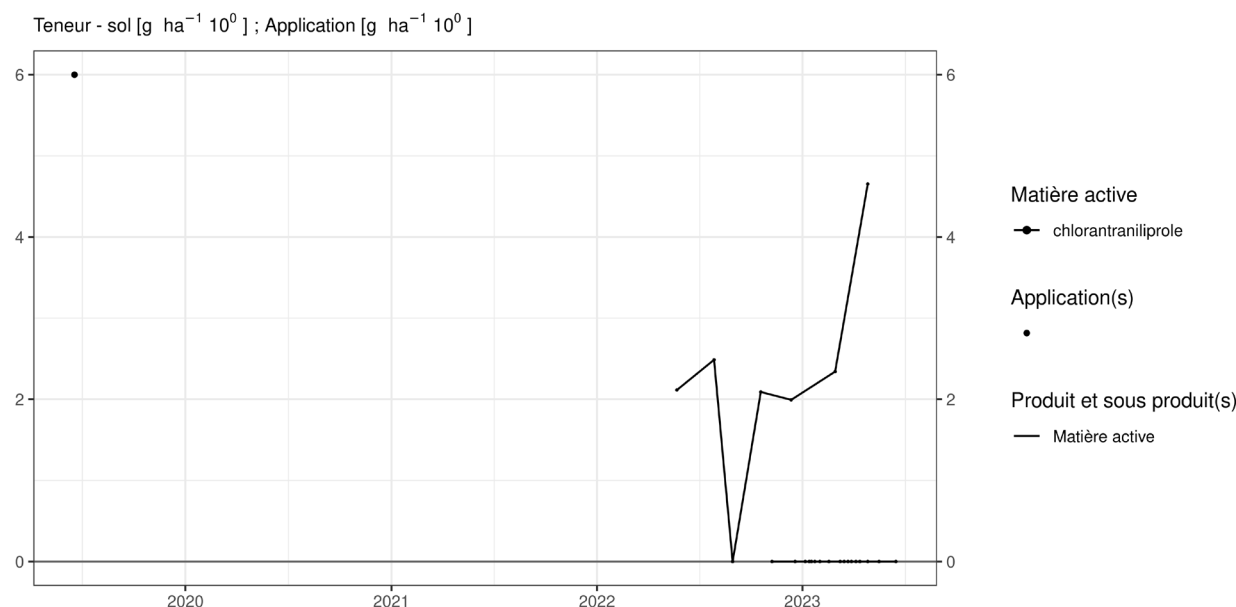


Figure 31. Applications et suivi de la teneur en chlorantraniliprole dans la parcelle Chemin de fer.

## 4.7. Chloridazon

Le chloridazon est un herbicide qui a été utilisé sur culture de betterave dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, l'observation réalisée par l'ISSEP sur la parcelle Haute Bova (figure 32) indique que l'apport est détecté à cinq fois la quantité apportée. Cette valeur est vraisemblablement aberrante.

Plus de deux ans après l'apport (Haute Bova, 2014 et 2018), le chloridazon n'est plus détecté dans le sol. La concentration dans le sol est inférieure à la dizaine de grammes par hectare.

A plus long terme (plus de huit ans) après l'apport, l'ISSEP a décelé les métabolites du chloridazon dans le sol (figures 33 à 35) à des concentrations comprises entre 15 et 60 g/ha, soit environ un vingtième d'un apport.

### **EAU**

Les métabolites de cette matière active sont observés (par l'ISSEP entre 2014 et 2018 et par le CRAW depuis juin 2018) dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres :

- sur la parcelle Haute Bova sur laquelle deux apports de cette matière active ont été 'récemment' réalisés (2014 et 2018), succédant très vraisemblablement à des apports de même fréquence, les flux de desphenyl-chloridazon au cours de huit périodes de lixiviation (2014 à 2023) sont de l'ordre de la cinquantaine de grammes par hectare. Les flux de methyl-desphenyl chloridazon observés au cours de trois périodes de lixiviation (2014 à 2017) sont de l'ordre de la vingtaine de grammes par hectare.

La concentration moyenne au cours d'une période de lixiviation en desphenyl chloridazon est passée de 6000 ng/l (entre 2014 et 2017) à 20.000 ng/l (entre 2020 et 2022) suite à l'apport réalisé en 2018. Au cours de la période de drainage 2022-2023, la concentration en ce métabolite est 12.000 ng/l.

- sur la parcelle Chemin de fer sur laquelle aucun apport de cette matière active n'a été réalisé depuis au moins 2010, les flux de desphenyl-chloridazon au cours de huit périodes de lixiviation (2014 à 2023) sont de l'ordre de la dizaine de grammes par hectare. Ces flux engendrent une concentration moyenne de l'ordre de 7.500 ng/l (avec des valeurs plus élevées depuis fin 2019).

Les flux de methyl-desphenyl chloridazon observés au cours de quatre périodes de lixiviation (2014 à 2018) sont de l'ordre de la dizaine de grammes par hectare ;

- sur la parcelle Bovenistier sur laquelle aucun apport de cette matière active n'a été réalisé depuis au moins 2010, les flux de desphenyl-chloridazon au cours de huit périodes de lixiviation (2014 à 2023) sont de l'ordre de la trentaine de grammes par hectare. Ces flux engendrent une concentration moyenne de l'ordre de 7.500 ng/l (avec des valeurs plus élevées depuis fin 2019).

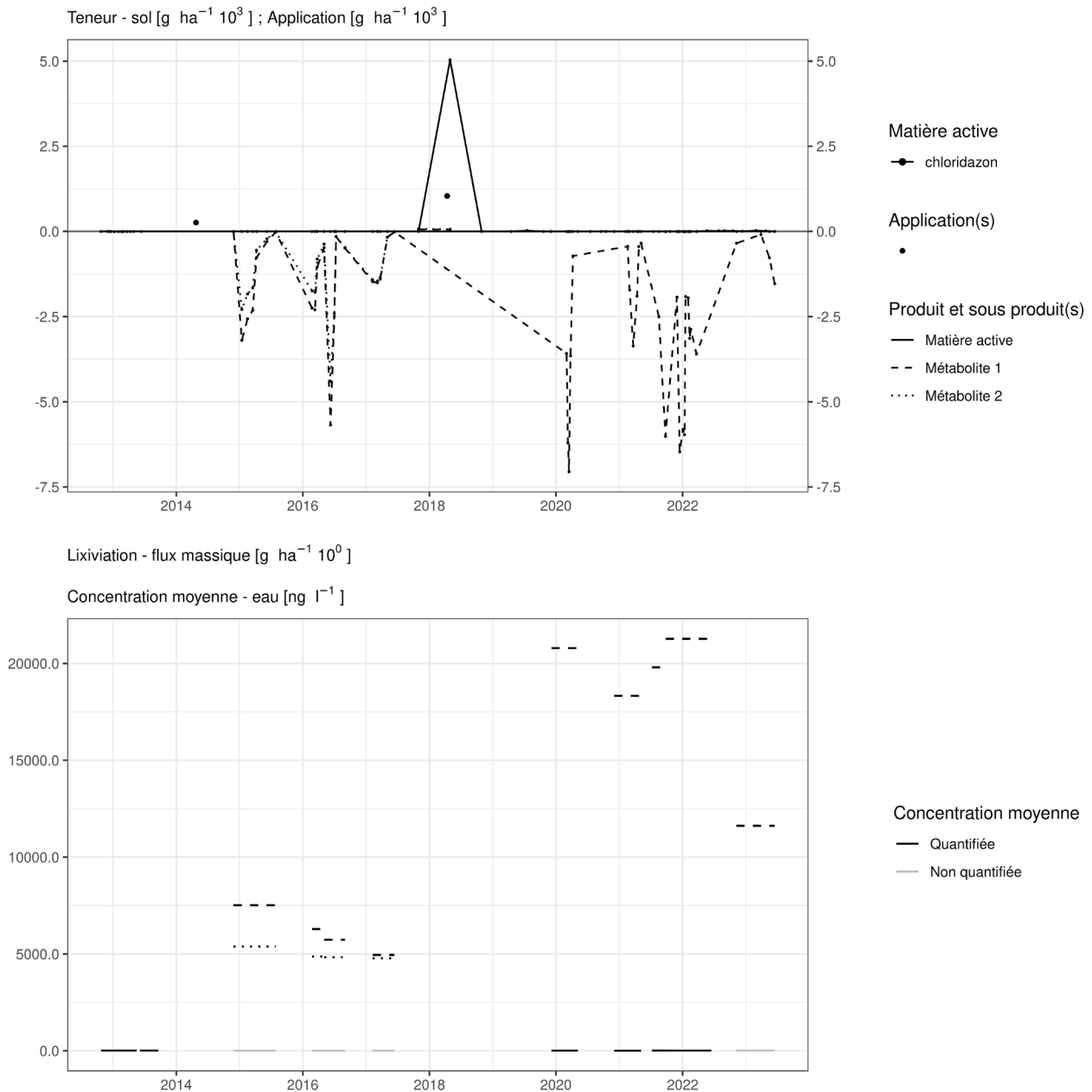
Les flux de methyl-desphenyl chloridazon observés au cours de quatre périodes de lixiviation (2014 à 2018) sont de l'ordre de la quinzaine de grammes par hectare ;

- sur la parcelle Sole 4 sur laquelle aucun apport de cette matière active n'a été réalisé depuis au moins 2010, les flux de desphenyl-chloridazon au cours de huit périodes de lixiviation (2014 à 2023) sont de l'ordre de 80 g/ha. Ces flux engendrent une concentration moyenne de l'ordre de 10.000 ng/l (avec des valeurs plus élevées depuis fin 2019).

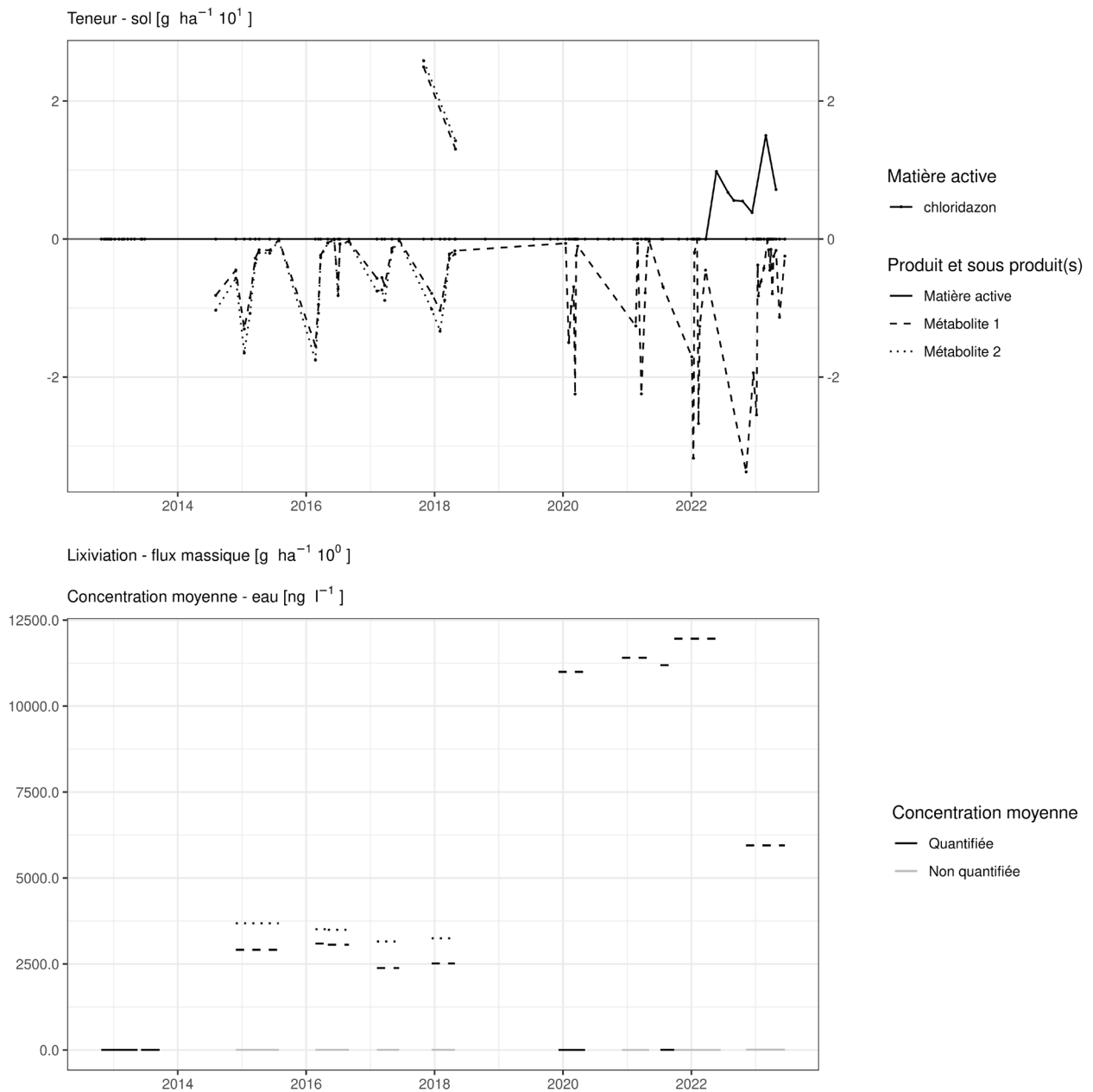
Les flux de methyl-desphenyl chloridazon observés au cours de quatre périodes de lixiviation (2014 à 2018) sont de l'ordre de la quinzaine de grammes par hectare ;

- sur les parcelles Sol-Résidus sur lesquelles aucun apport de cette matière active n'a été réalisé depuis au moins 2010, les flux de desphenyl-chloridazon au cours des périodes de lixiviation (2020-2023) sont de la trentaine de grammes par hectare.

Grosso modo, les flux de desphenyl-chloridazon sont donc de l'ordre de la dizaine de grammes par hectare et par an (ce qui correspond à une concentration moyenne de l'ordre de 3.000 ng/l) et les flux de methyl-desphenyl-chloridazon sont de l'ordre de quelques grammes par hectare et par an.

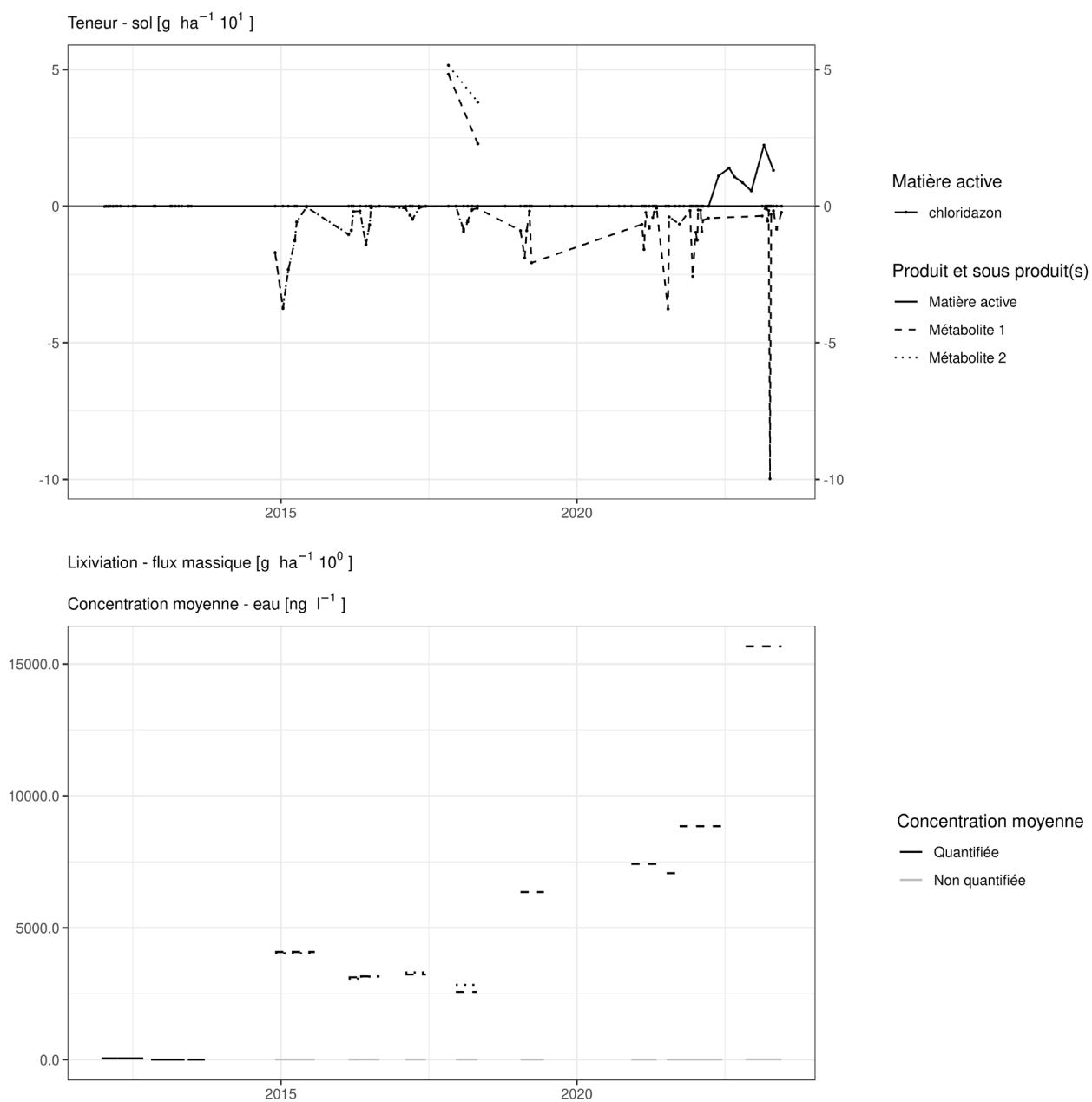


**Figure 32. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Haute Bova.**

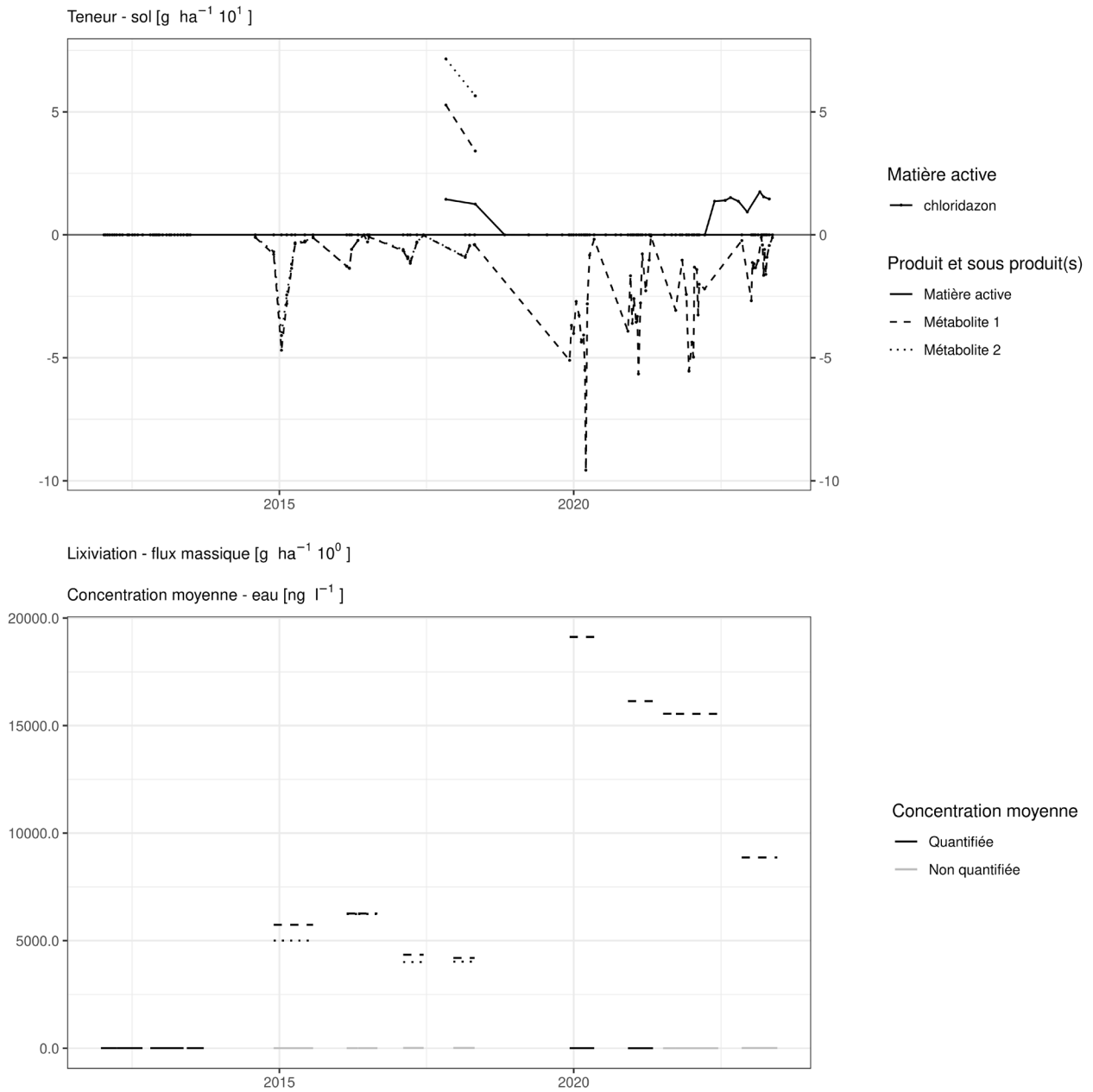


**Figure 33. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Chemin de fer.**

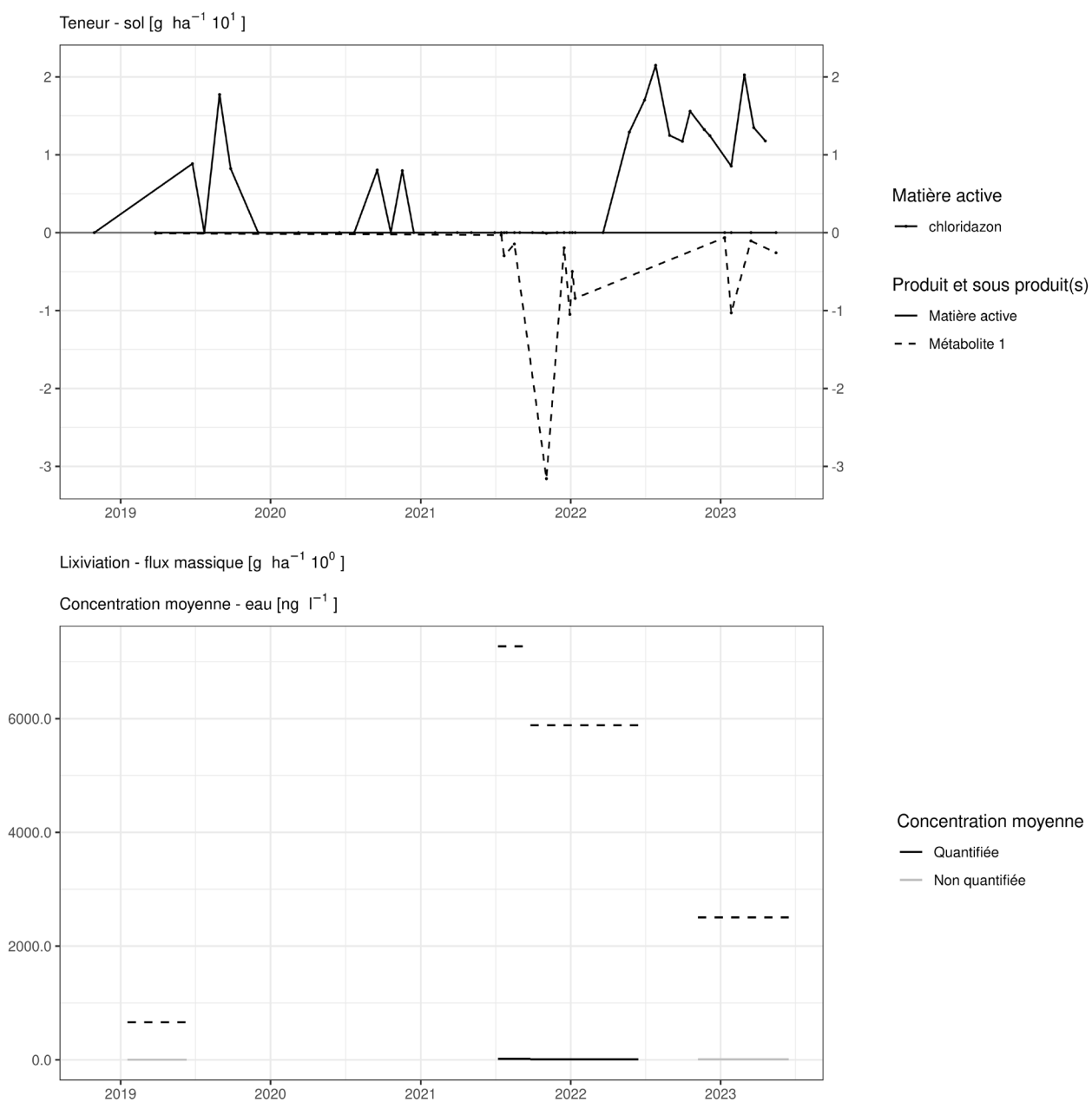




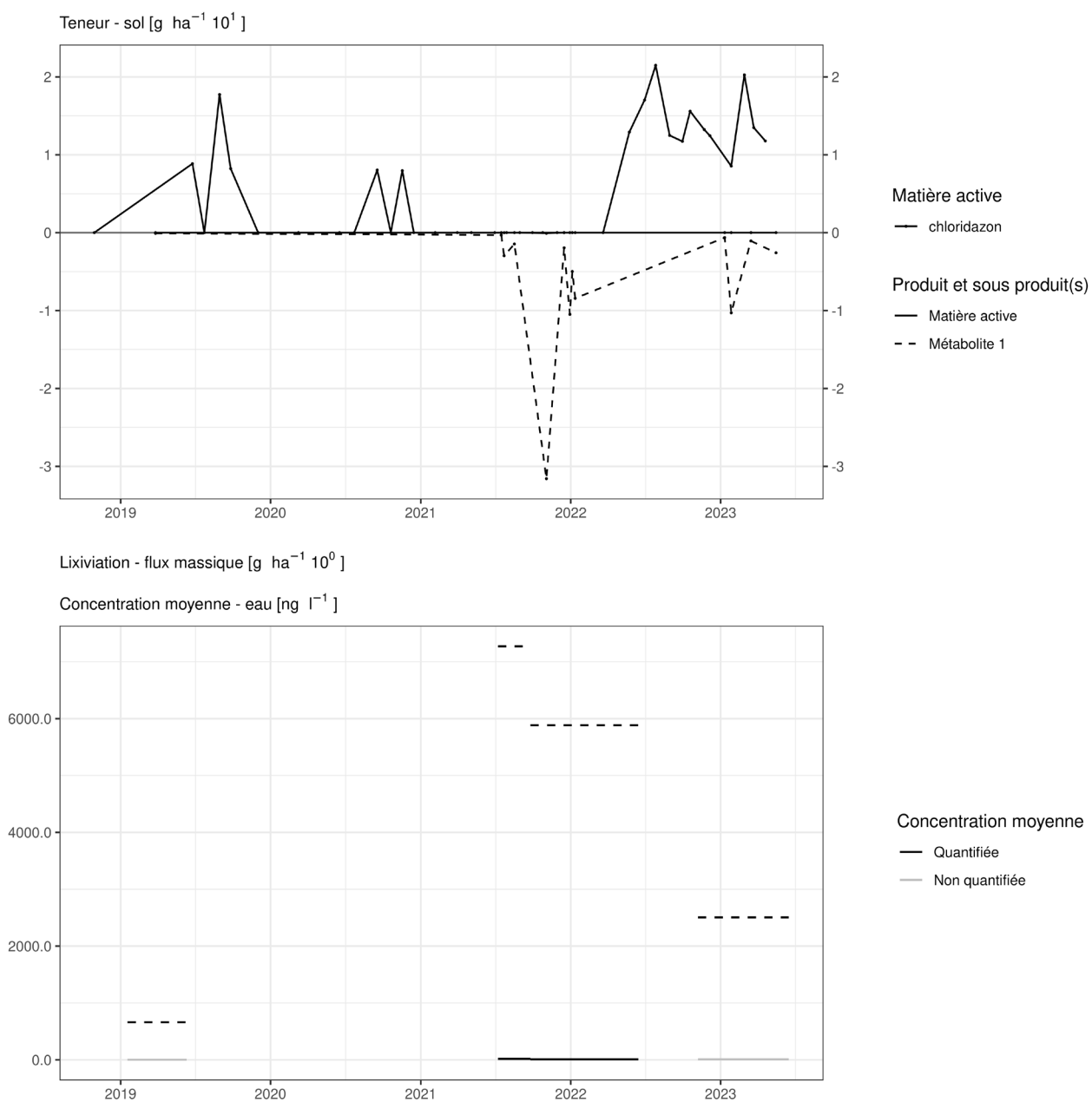
**Figure 34. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Bovenistier.**



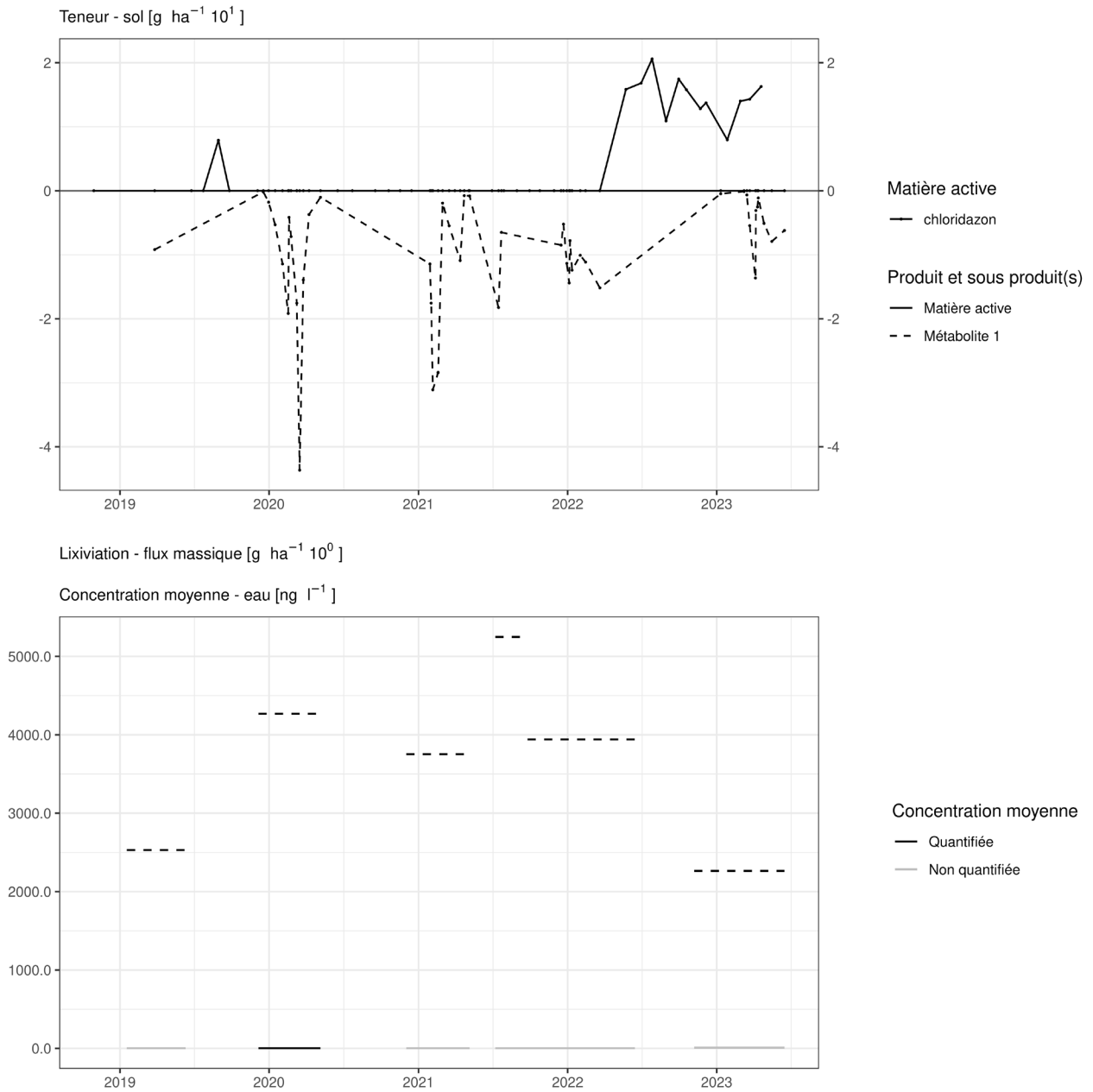
**Figure 35. Applications et suivi de la teneur en chloridazon, en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) et en methyl-desphenyl-chloridazon (métabolite 2) dans la parcelle Sole 4.**



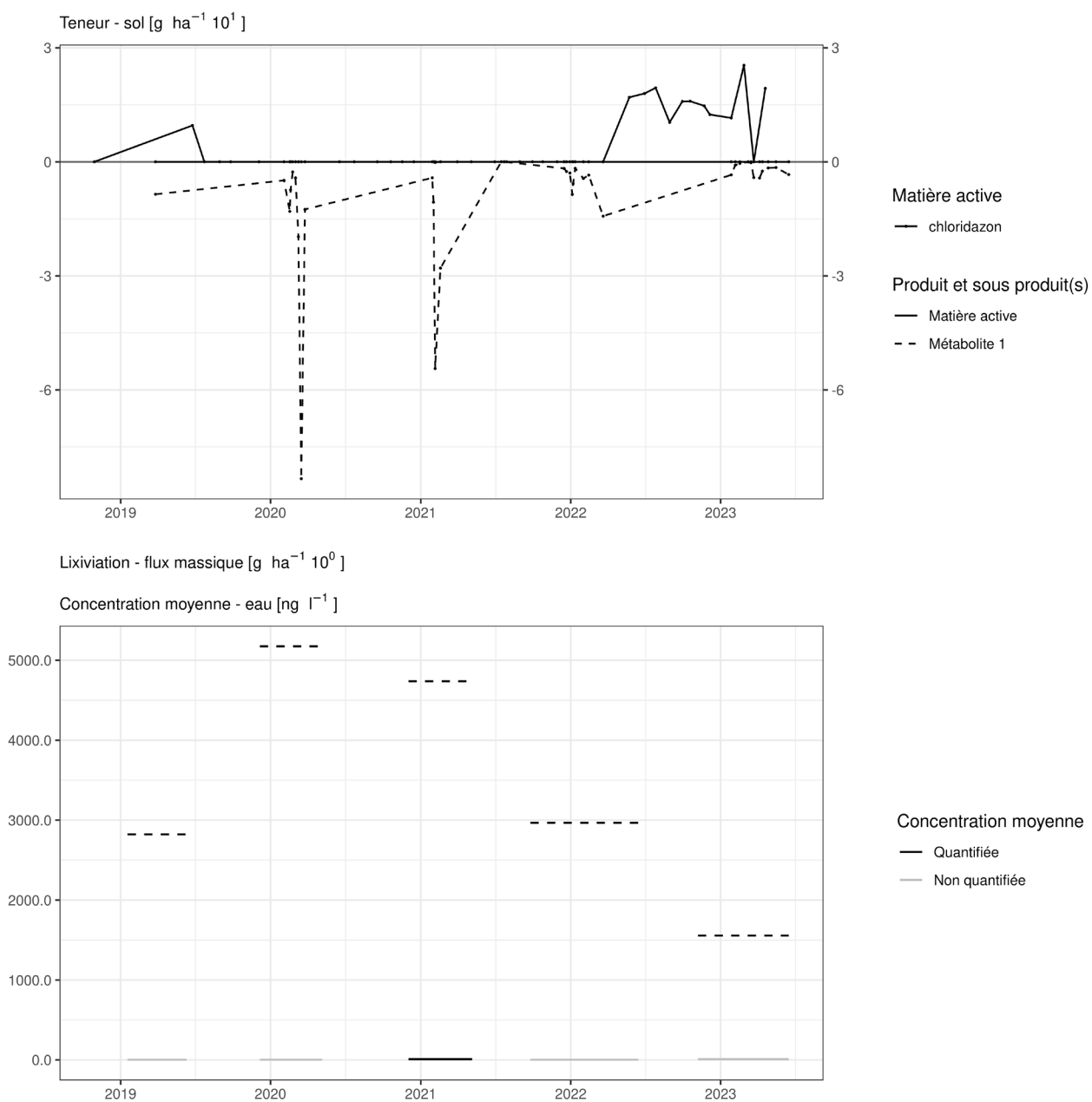
**Figure 36. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR4.**



**Figure 37. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR8.**



**Figure 38. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR12.**



**Figure 39. Applications et suivi de la teneur en chloridazon et en desphenyl-chloridazon (métabolite 1) dans la parcelle SR16.**

## 4.8. Clomazone

La clomazone est un herbicide essentiellement utilisé sur culture de betterave, légumineuse, carotte dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### SOL

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 40 à 46) sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, un apport d'un peu plus de 50 g/ha réalisé en mai 2019 conduit en juillet à une concentration dans le sol de près de 38 g/ha, soit une augmentation de 18 g/ha en comparaison au résultat analytique qui précède l'apport. Un apport d'un peu plus de 70 g/ha fin avril 2021 conduit en juillet à une concentration de 21 g/ha, soit une augmentation de 14 g/ha en comparaison au résultat analytique qui précède l'apport ;
- sur la parcelle Bovenistier, un apport d'un peu plus de 70 g/ha réalisé en mai 2020 conduit en juillet à une concentration dans le sol de l'ordre de 500 g/ha ; cette valeur n'est pas expliquée. En mai 2021, un apport d'une cinquantaine de grammes par hectare conduit en juillet à une concentration dans le sol d'une vingtaine de grammes par hectare ;
- sur la parcelle Sole 4, un apport d'un peu plus de 60 g/ha réalisé en mai 2020 laisse en juillet dans le sol une concentration de l'ordre de la quinzaine de grammes par hectare. Un constat similaire est fait en 2022 ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport d'environ 25 g/ha réalisé en mai conduit à une concentration dans le sol de l'ordre de quelques grammes par hectare au cours de l'été qui suit.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, l'apport d'un peu plus de 50 g/ha réalisé en mai 2019 laisse, en automne, une concentration dans le sol de l'ordre d'une dizaine de grammes par hectare. Le même ordre de grandeur est observé pour l'apport réalisé au printemps 2021 ;
- sur la parcelle Bovenistier, les apports réalisés en mai 2020 et mai 2021 laissent en automne de la même année une concentration dans le sol de l'ordre la dizaine de grammes par hectare ;
- sur la parcelle Sole 4, les apports réalisés en 2022 laissent une concentration dans le sol au printemps 2023 de l'ordre de 10 g/ha. L'apport d'un peu plus de 60 g/ha réalisé mai 2020 conduit à une concentration de quelques grammes par hectare à l'automne de la même année. Les deux apports totalisant un peu plus de 80 g/ha réalisés au printemps 2019 ne sont plus décelés à l'automne de la même année ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, le traitement (environ 25 g/ha) réalisé au printemps 2021 n'est plus décelé dans le sol à partir de l'automne qui suit le traitement.

Dans les deux années qui suivent un apport de cette matière active, l'apport n'est plus décelé dans le sol (parcelles Sol-Résidus).

### EAU

Cette matière active été observée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres dans des concentrations toujours inférieures à la LOQ.

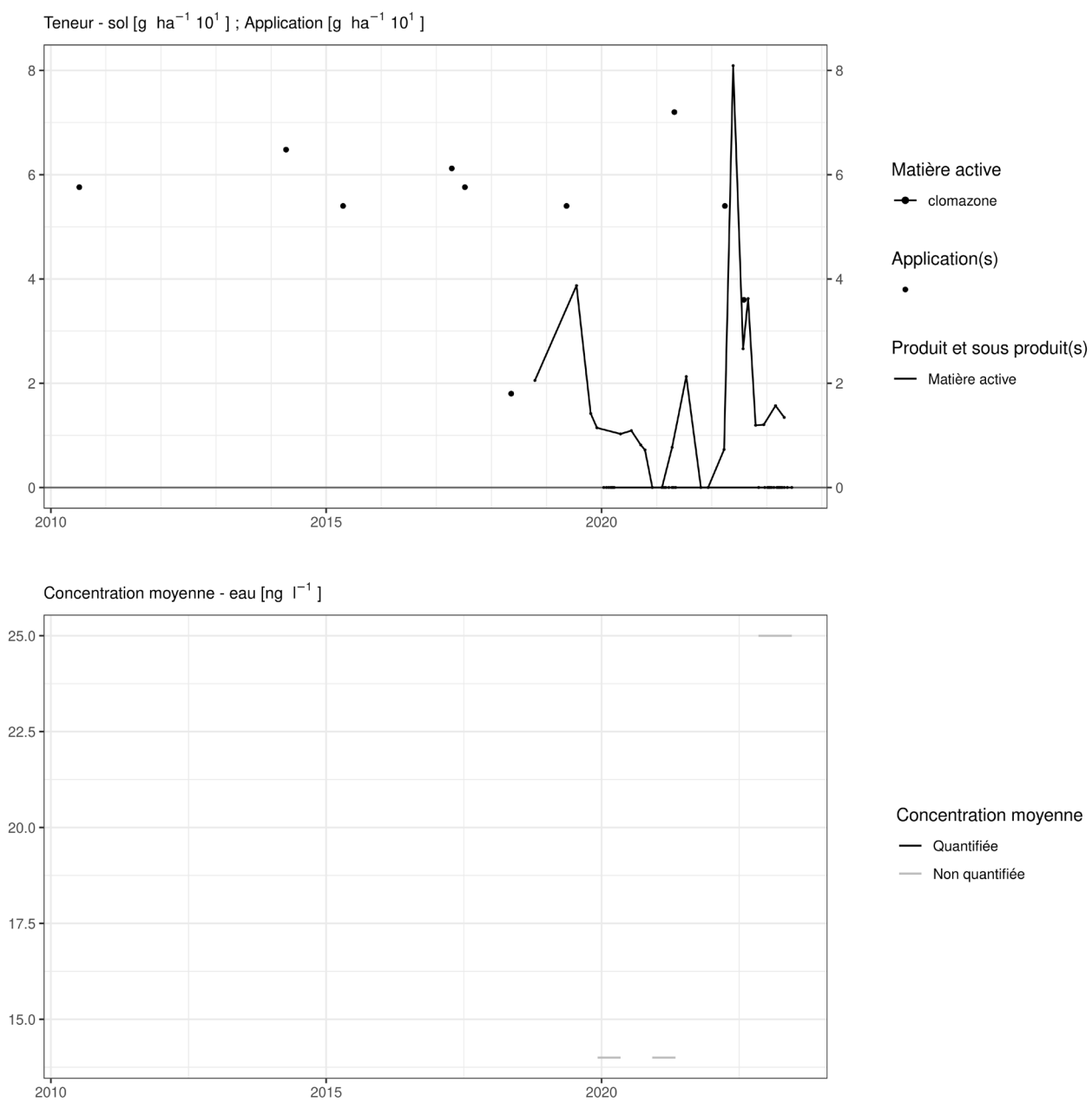
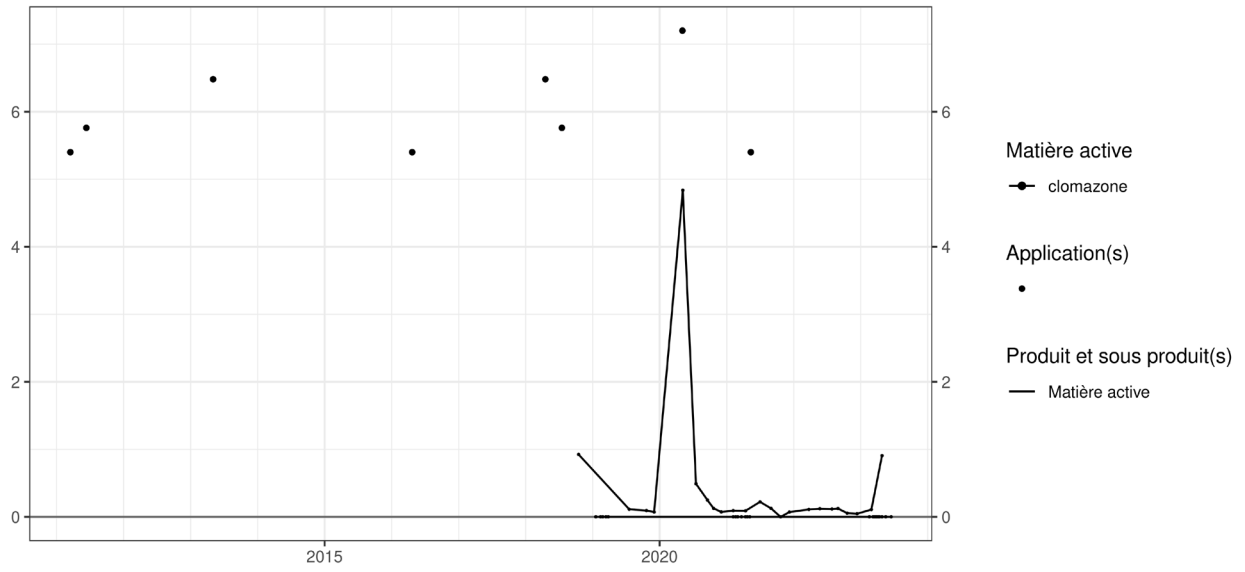


Figure 40. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle Chemin de fer.





Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

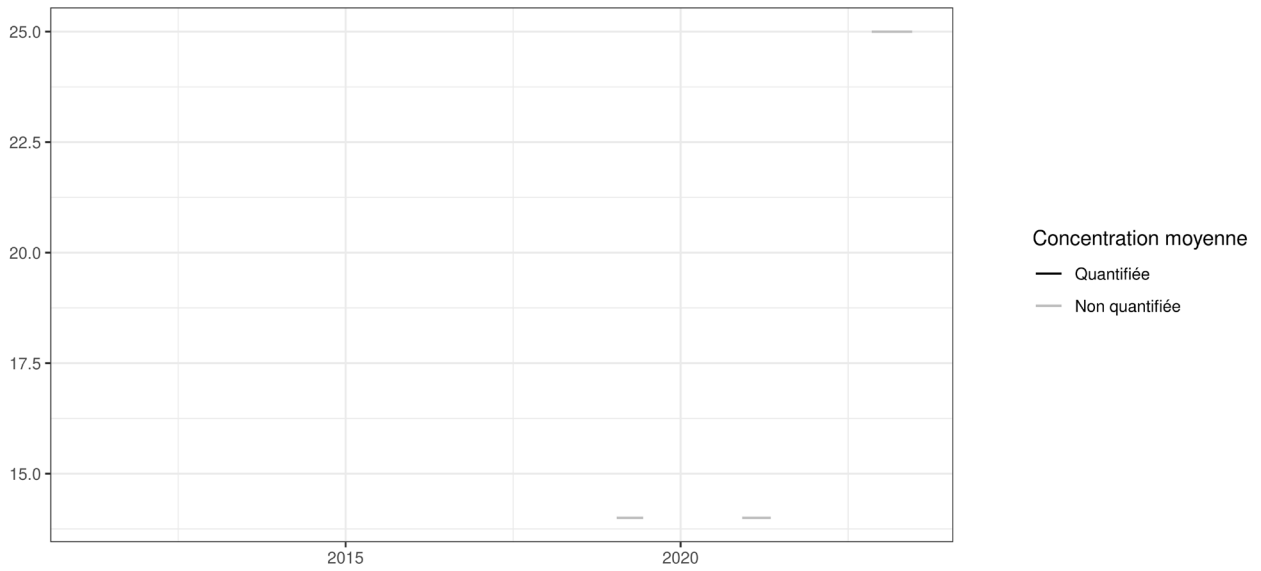
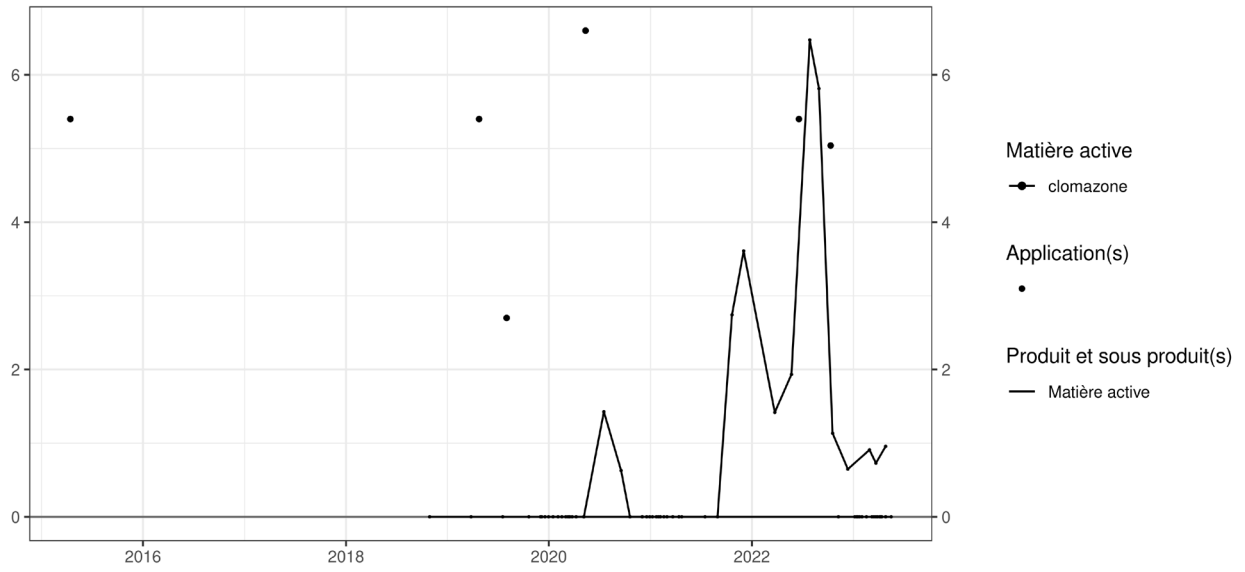


Figure 41. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle Bovenistier.



Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

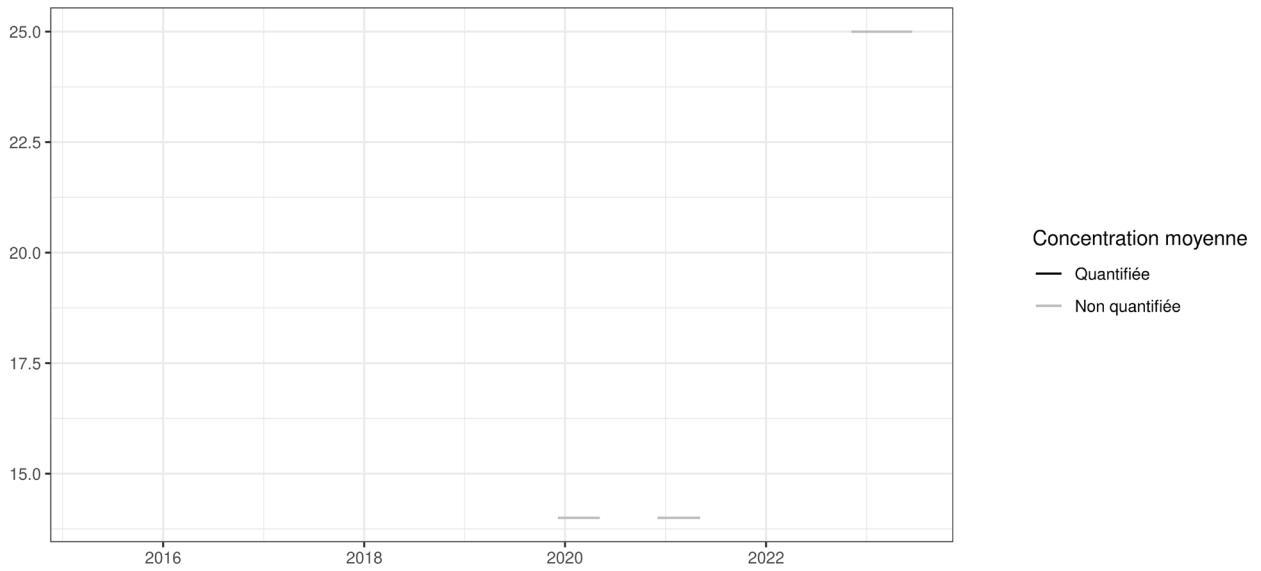
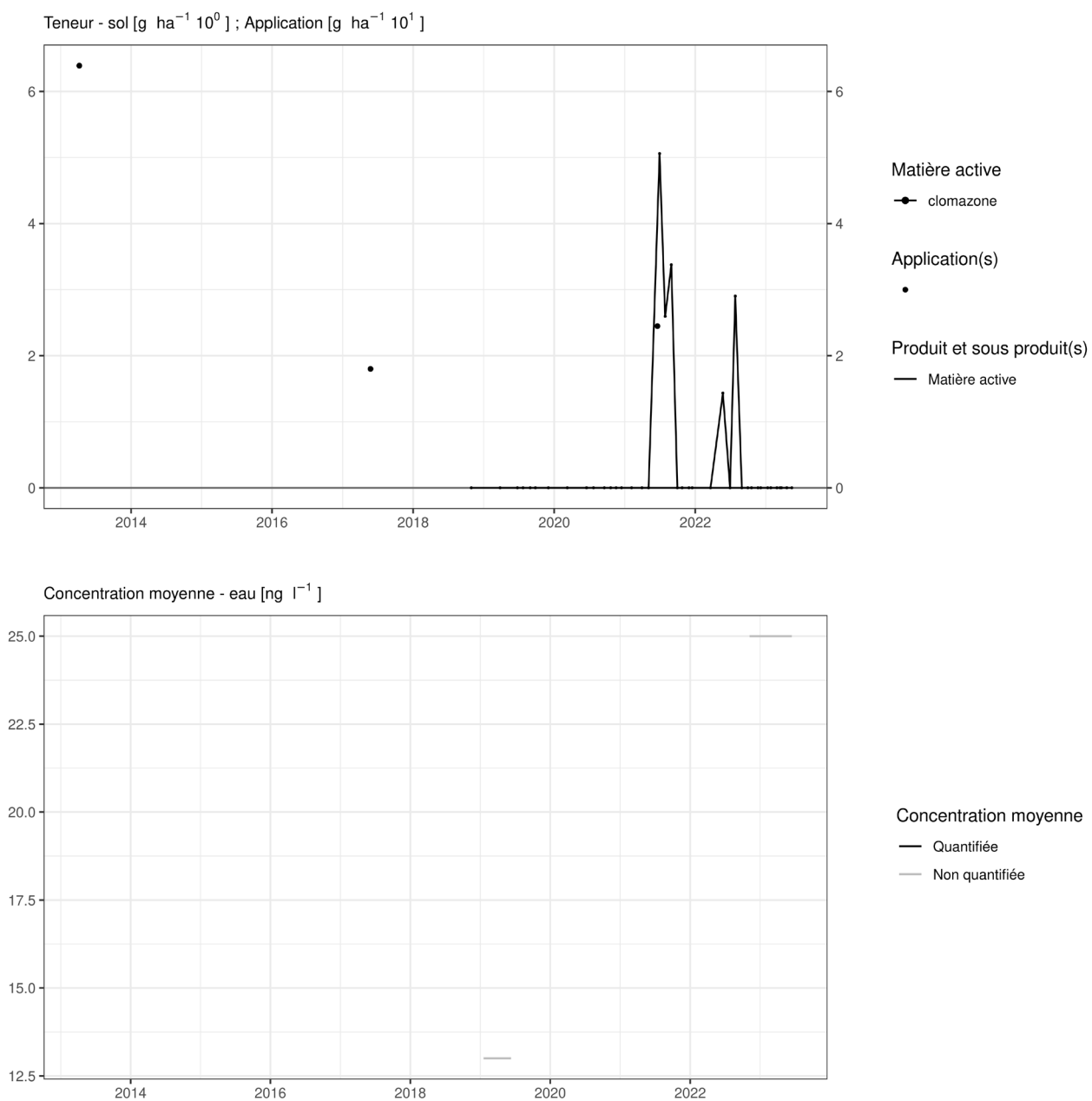
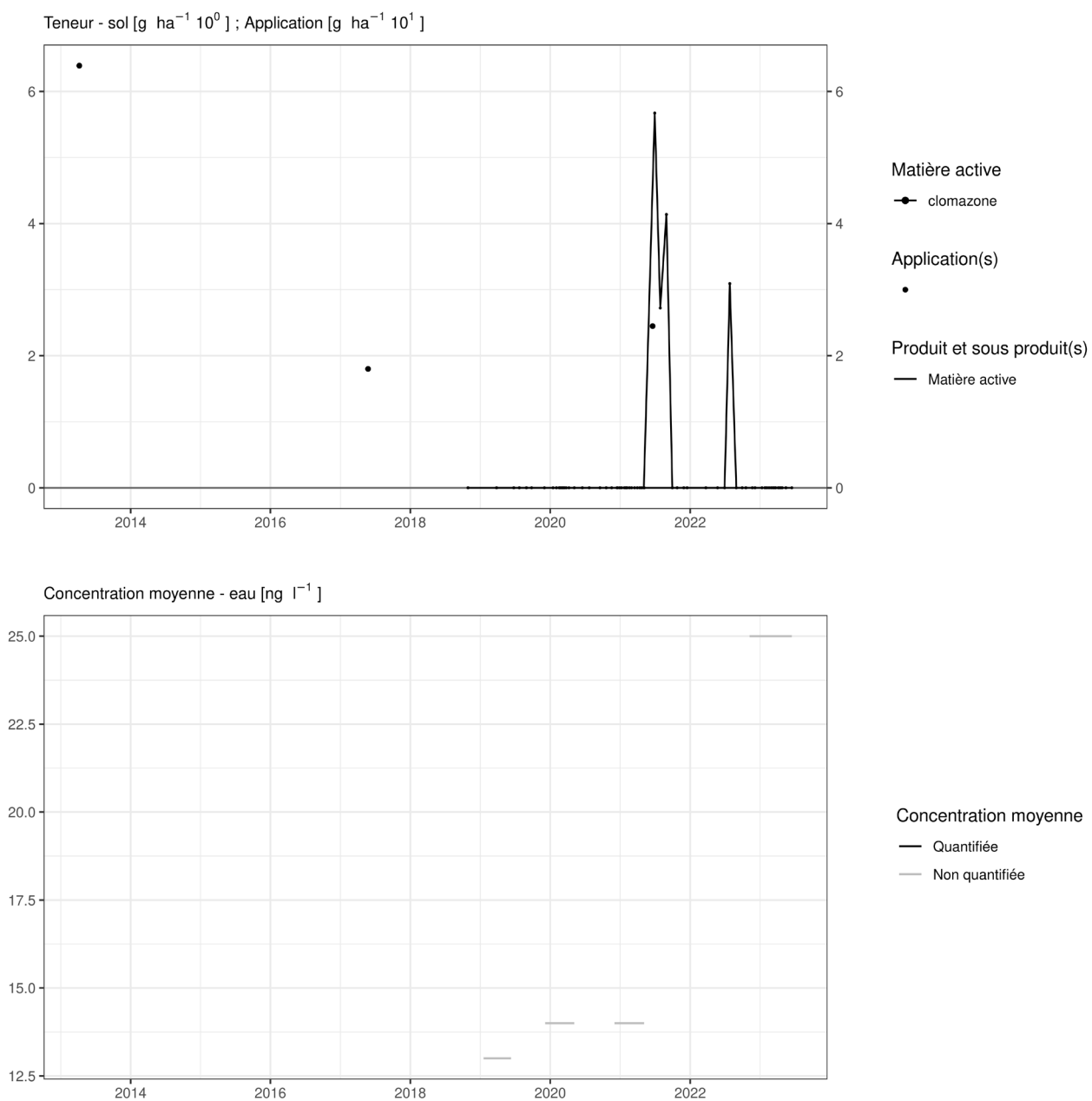


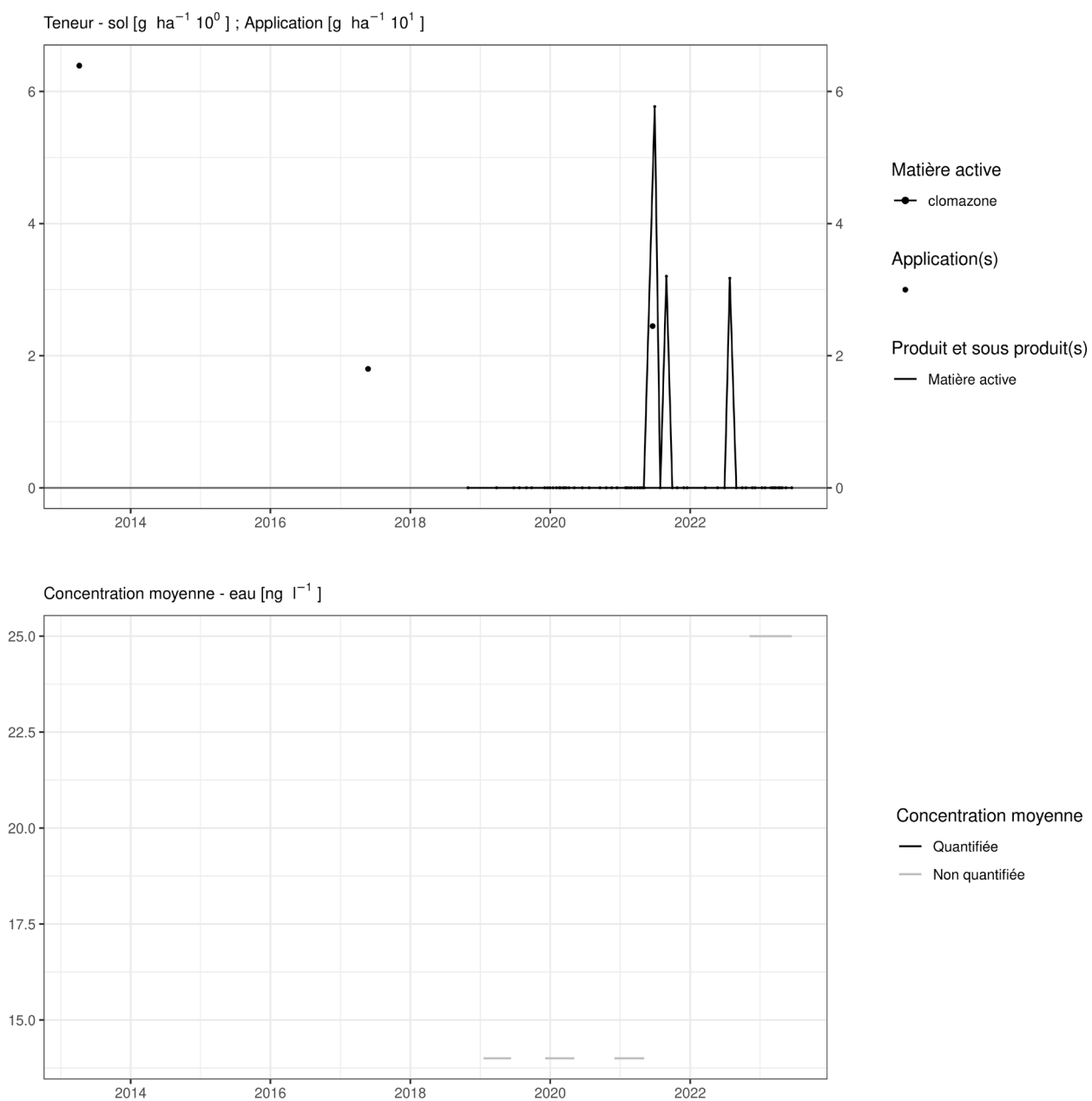
Figure 42. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle Sole 4.



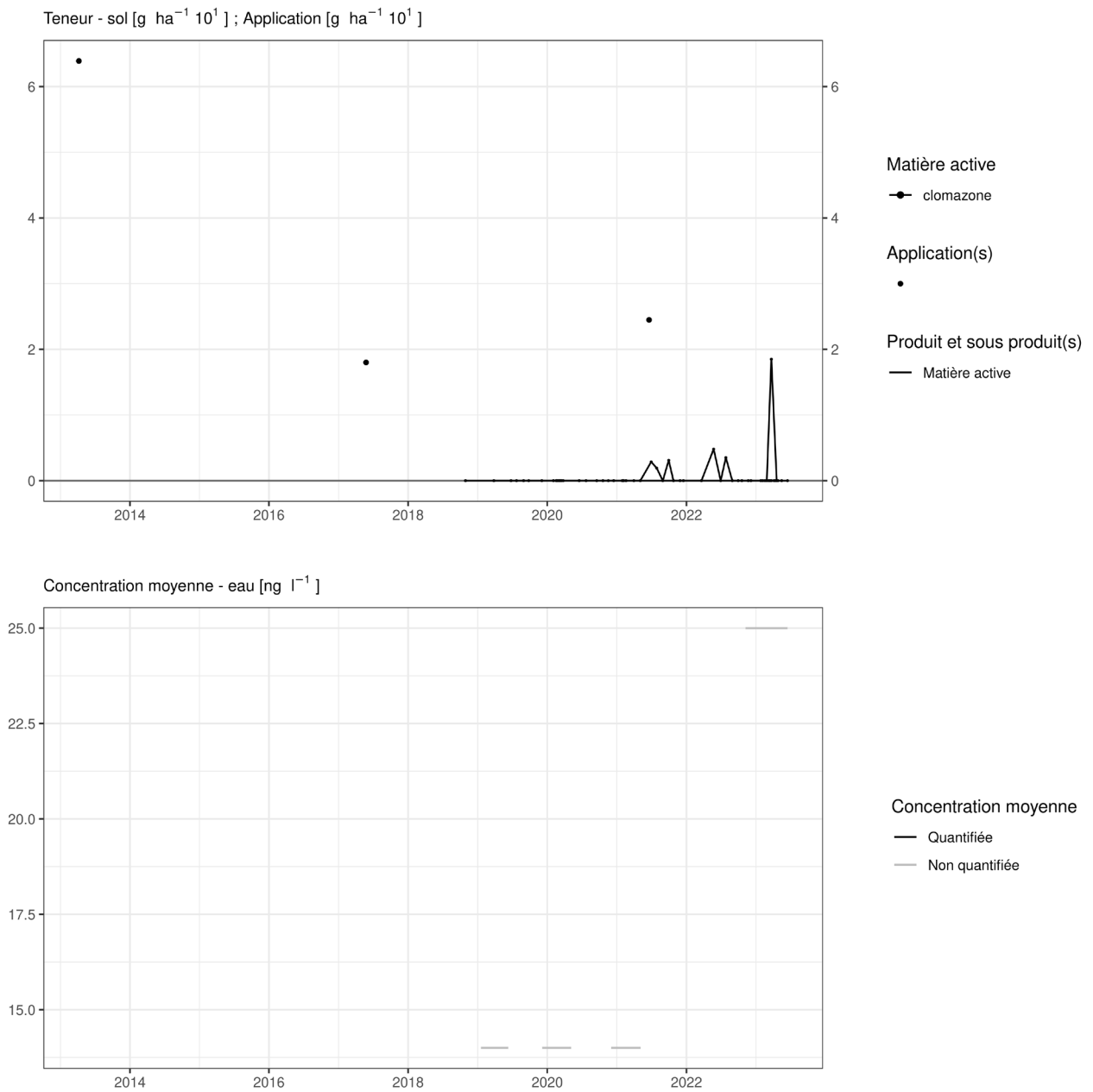
**Figure 43. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR4.**



**Figure 44. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR8.**



**Figure 45. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR12.**



**Figure 46. Applications et suivi de la teneur en clomazone dans la parcelle SR16.**

## 4.9. Clopyralide

Le clopyralide est un herbicide utilisé en culture de betterave et d'épinard.

Cette matière active n'a pas été recherchées dans les échantillons de sol et d'eau analysés dans le cadre de la convention Sol-Py-Ly.

Antérieurement, des analyses réalisées dans le laboratoire de la SWDE ont indiqué des flux de quelques millièmes de g/ha qui ont généré une concentration moyenne de quelques ng/l (figure 48) à une vingtaine de ng/l (figure 47)

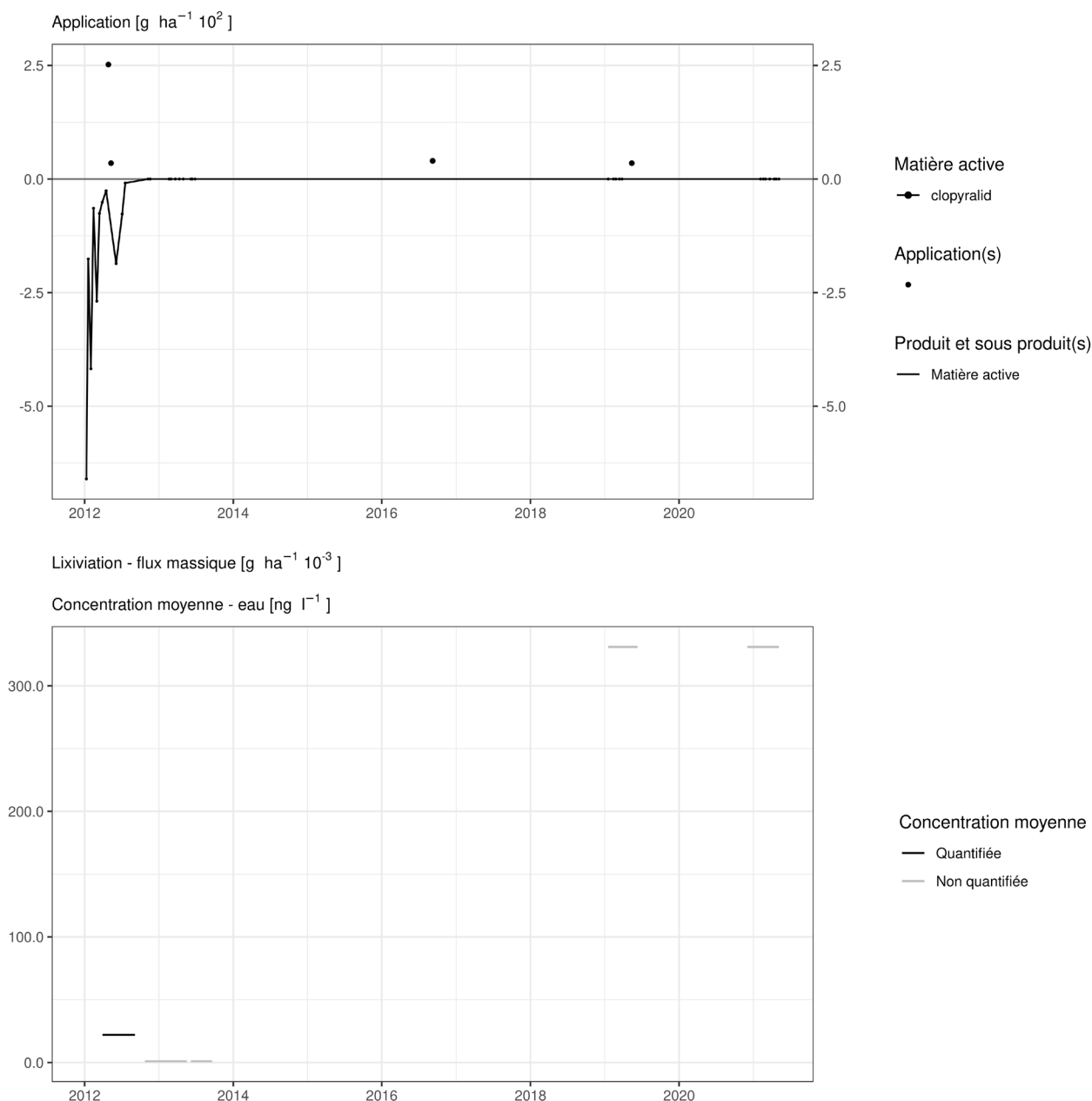
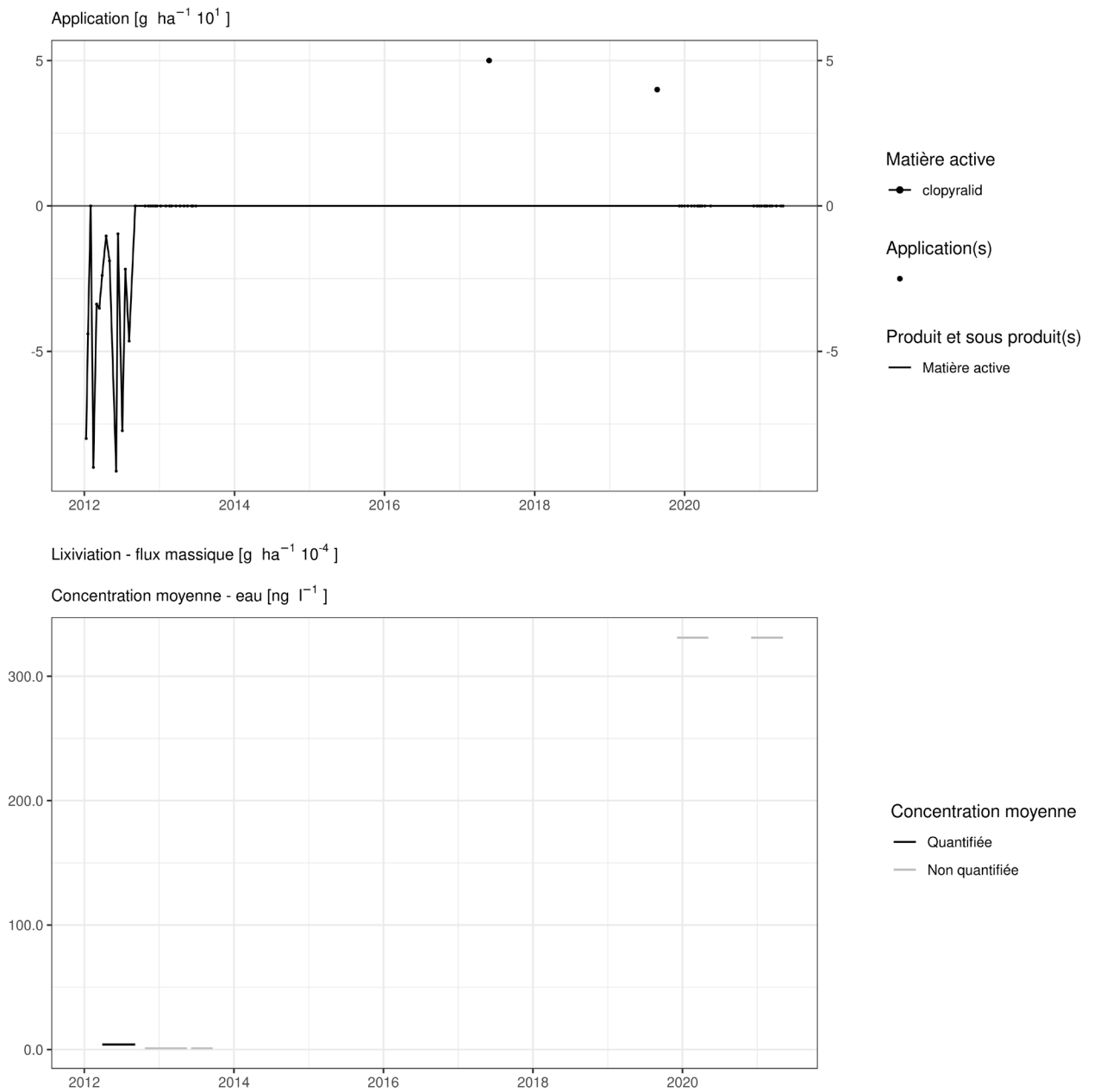


Figure 47. Applications et suivi de la teneur en clopyralide dans la parcelle Bovenistier.



**Figure 48. Applications et suivi de la teneur en clopyralide dans la parcelle Sole 4.**



## 4.10. Cloquintocet-mexyl

Le cloquintocet-mexyl est un herbicide utilisé en culture de froment sur les parcelles équipées d'un lysimètres.

Des échantillons prélevés le jour de l'application de cette matière active mettent en évidence cette matière active dans le sol (figure 49 et figure 50). Les échantillons prélevés plusieurs semaines après l'apport ne présentent plus de concentration quantifiable.

Cette matière active n'a jamais été mise en évidence dans les échantillons d'eau.

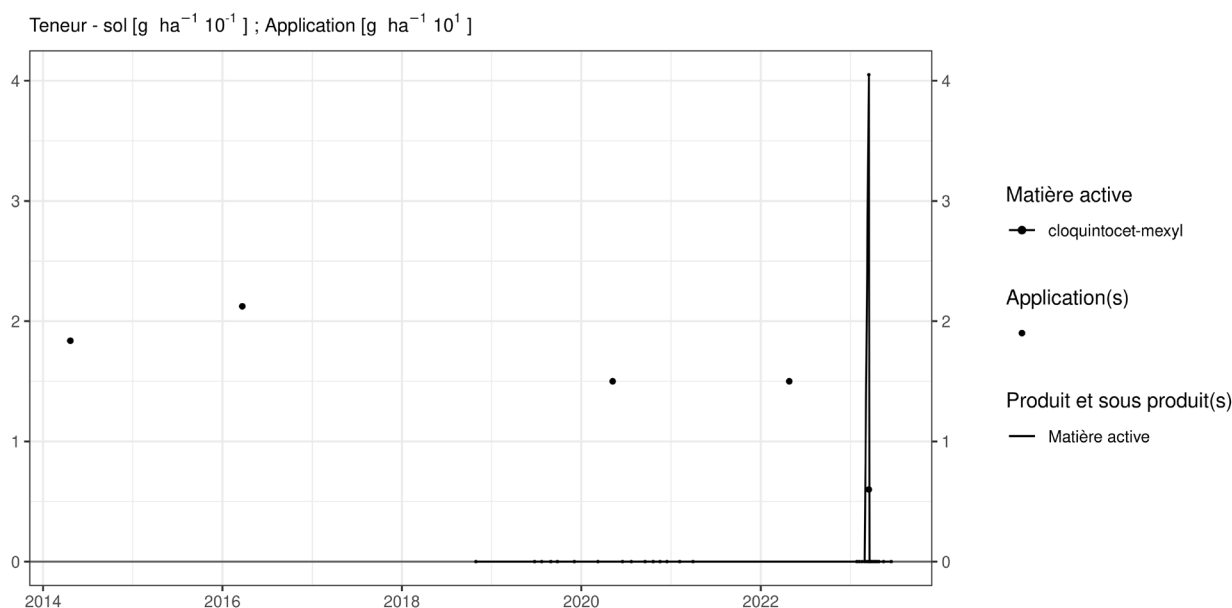


Figure 49. Applications et suivi de la teneur en cloquintocet-mexyl dans la parcelle SR8.

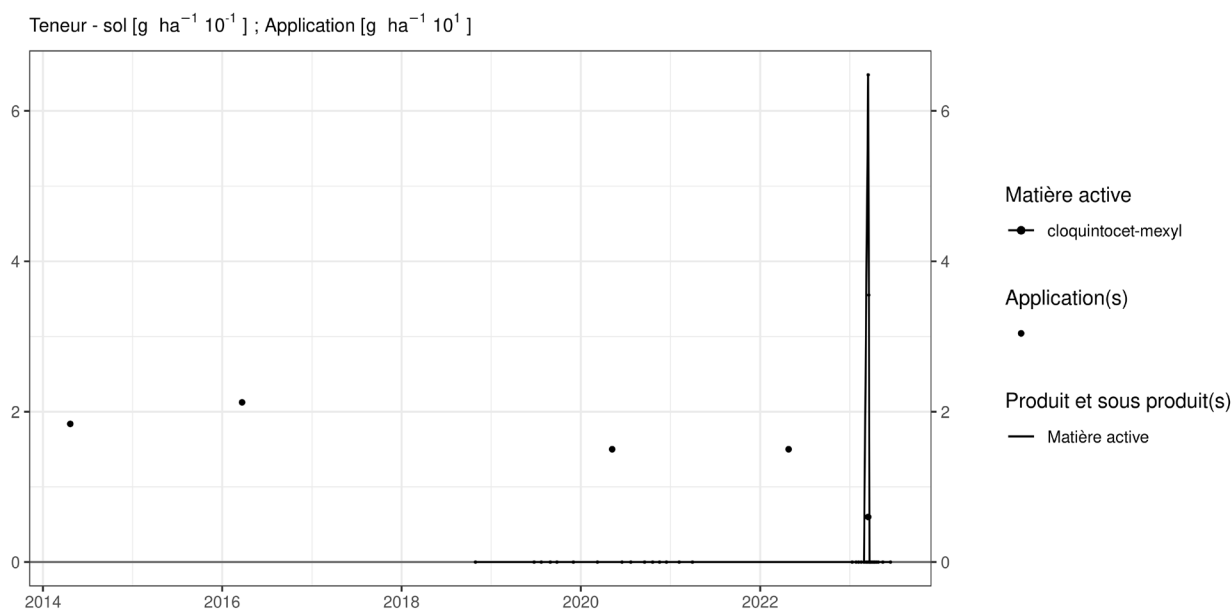


Figure 50. Applications et suivi de la teneur en cloquintocet-mexyl dans la parcelle SR16.

## 4.11. Clothianidine

La clothianidine est un insecticide d'enrobage de semences de betterave.

### SOL

Sur la parcelle Haute Bova, cette matière active est présente dans le sol à une concentration décroissante de l'ordre d'une dizaine de grammes par hectare (figure 51). Des betteraves ont été cultivées sur cette parcelle en 2006, 2010, 2014 et 2018.

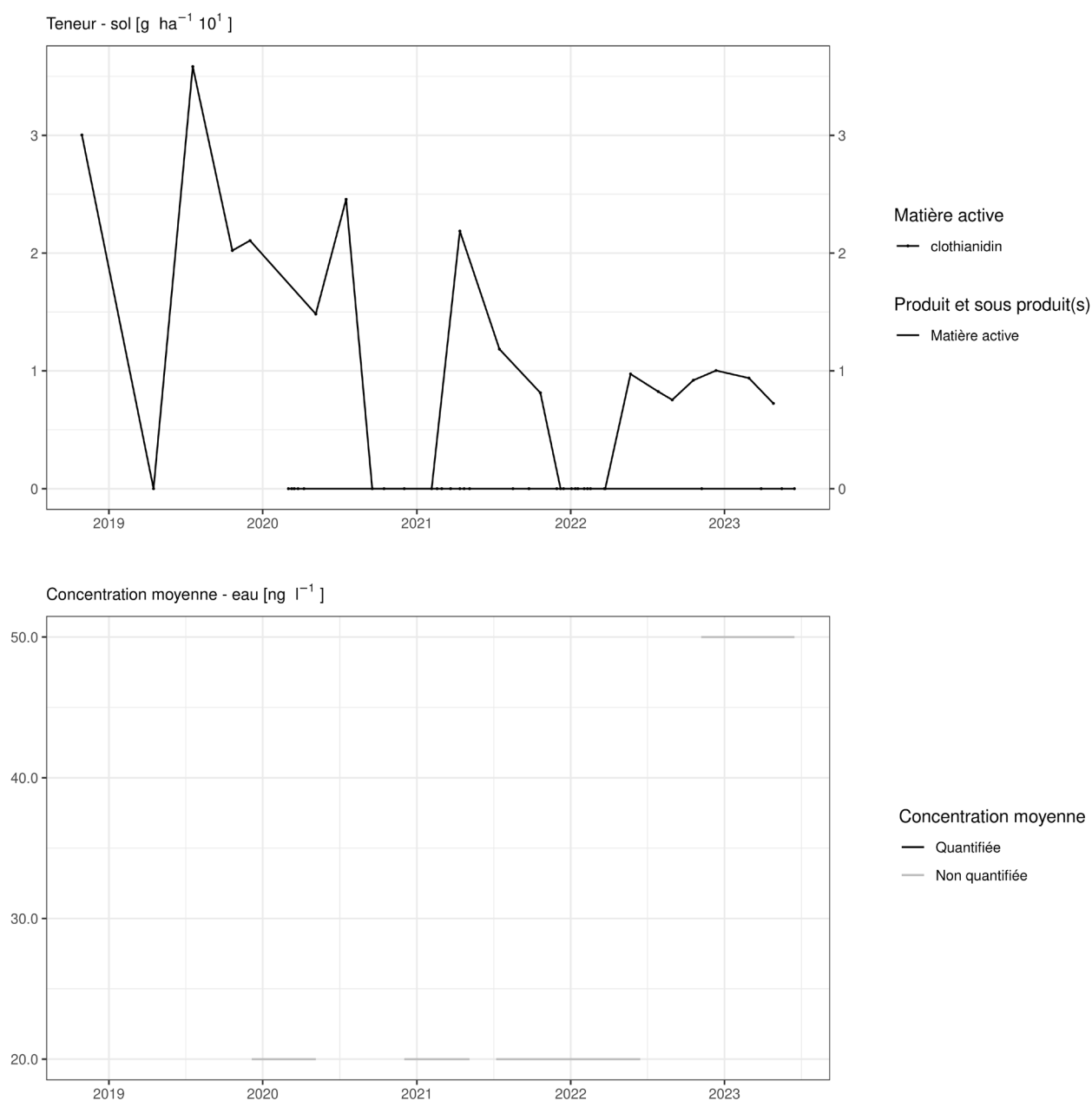


Figure 51. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle Haute Bova.

Sur la parcelle Chemin de fer, cette matière active est présente dans le sol à une concentration décroissante de l'ordre d'une dizaine grammes par hectare (figure 52). Des betteraves ont été cultivées sur cette parcelle en 2002 et 2018.

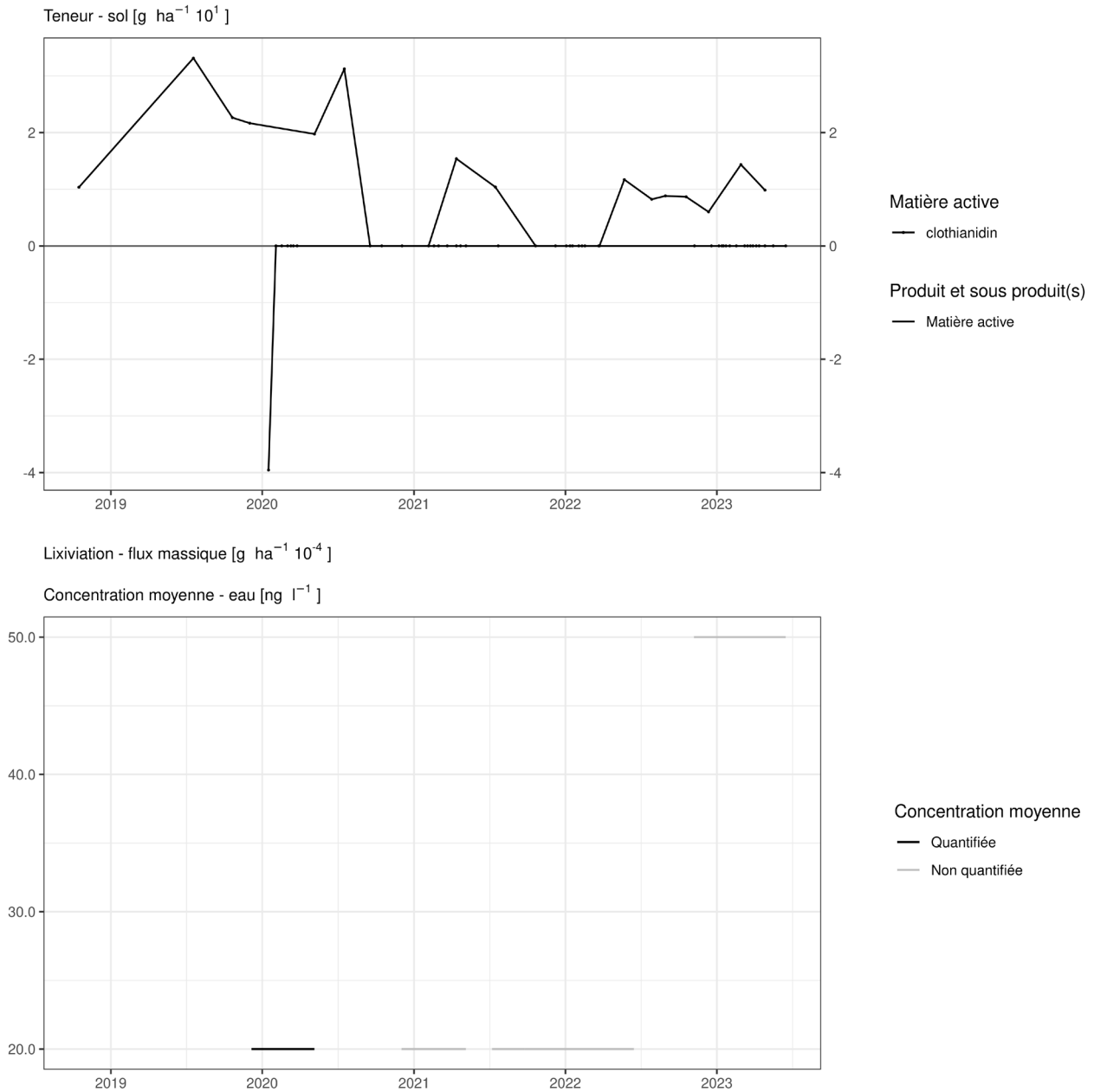


Figure 52. Applications et suivi de la teneur en clothianidrine dans la parcelle Chemin de fer.

Sur la parcelle Bovenistier, cette matière active est présente dans le sol à une concentration décroissante de l'ordre du gramme par hectare (figure 53). Des betteraves ont été cultivées sur cette parcelle en 2007, 2012 et 2019 (sans clothianidine).

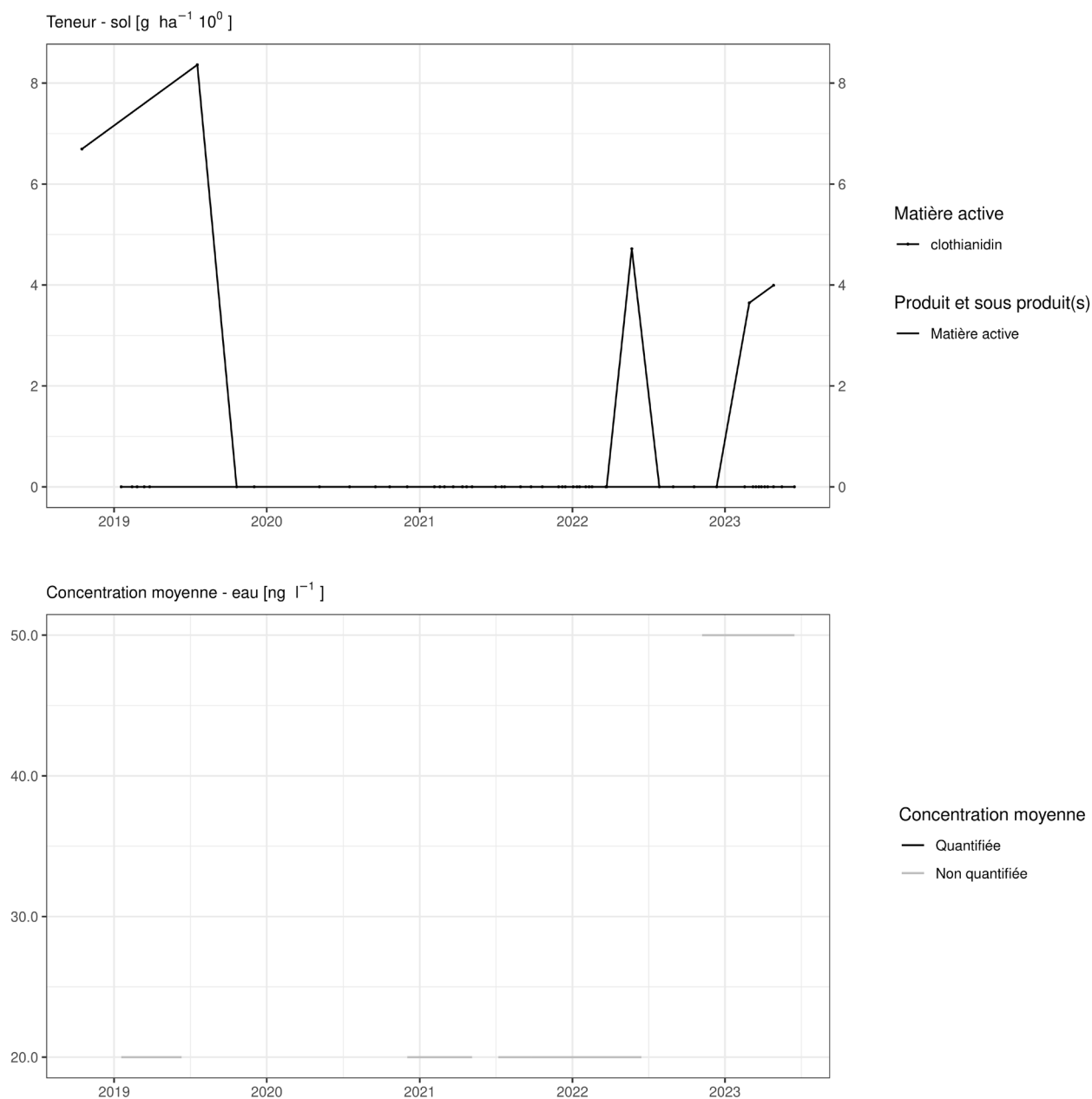


Figure 53. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle Bovenistier.

Sur la parcelle Sole 4, cette matière active est présente dans le sol à une concentration décroissante de l'ordre du gramme par hectare (figure 54). Des betteraves ont été cultivées sur cette parcelle en 2002 et 2017.

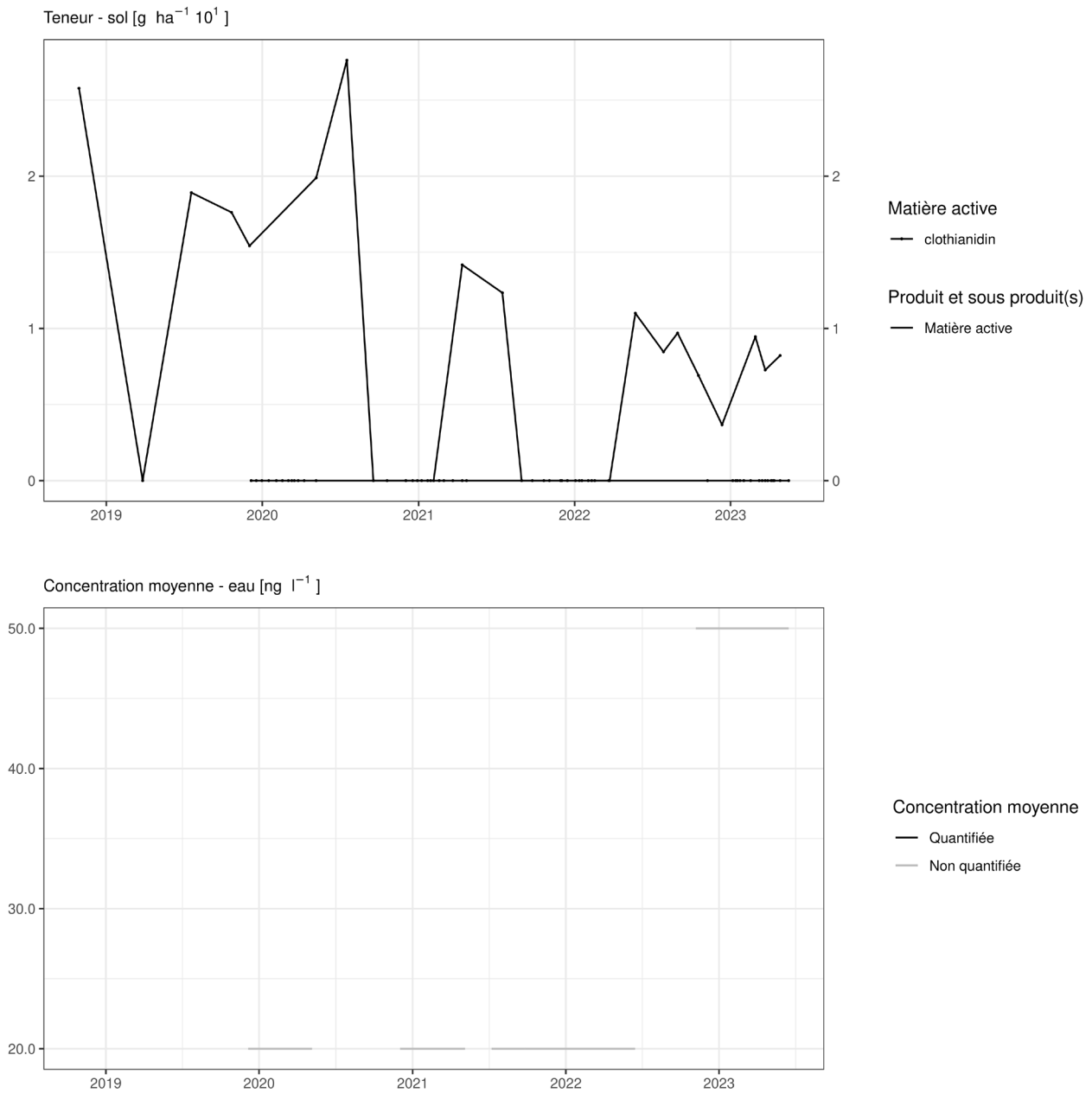
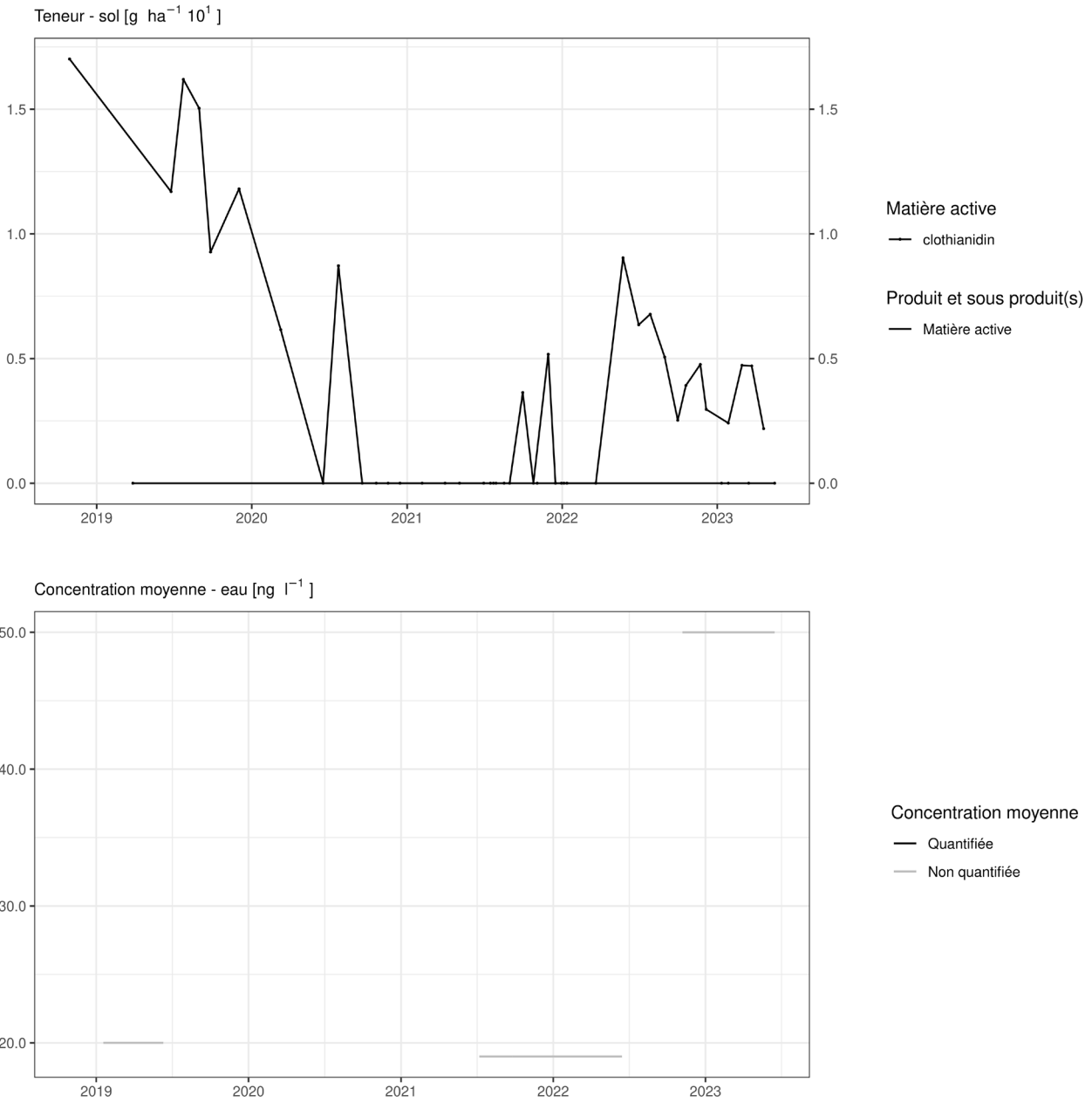
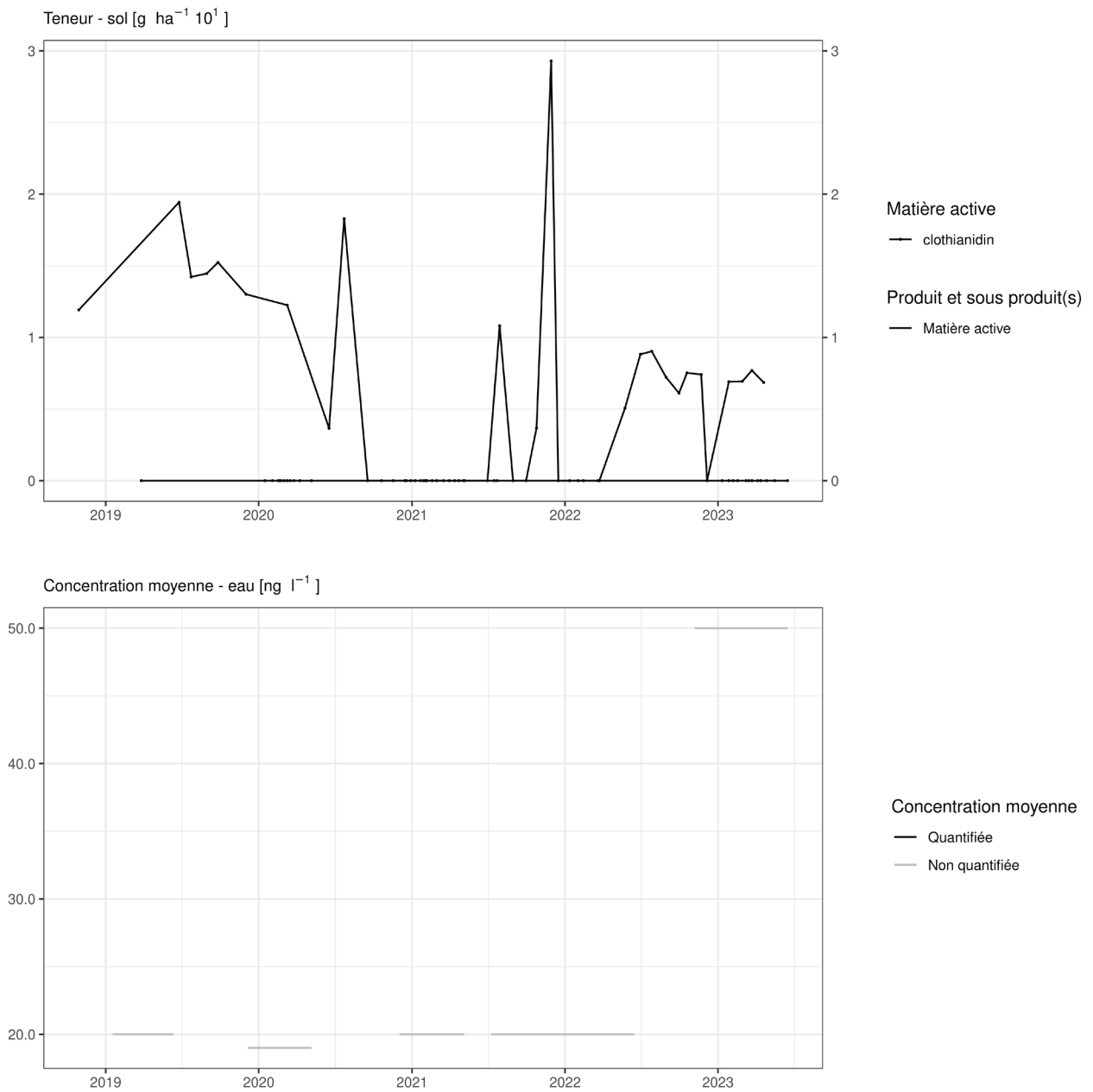


Figure 54. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle Sole 4.

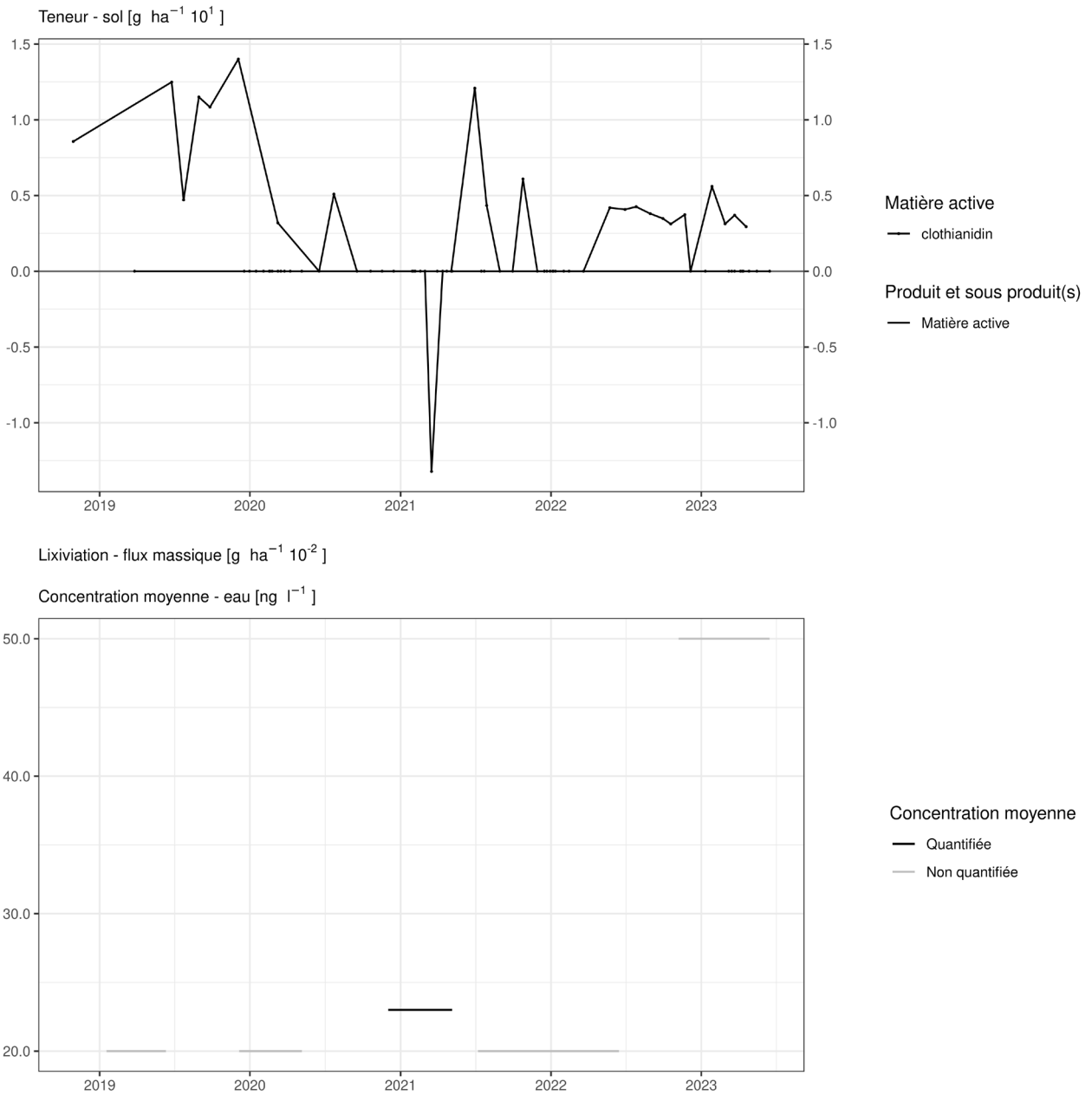
Sur les parcelles Sol-Résidus, cette matière active est présente dans le sol à une concentration décroissante de l'ordre de la quinzaine de grammes par hectare (figure 54). Des betteraves ont été cultivées sur cette parcelle en 2007, 2017 et 2021.



**Figure 55. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR4.**

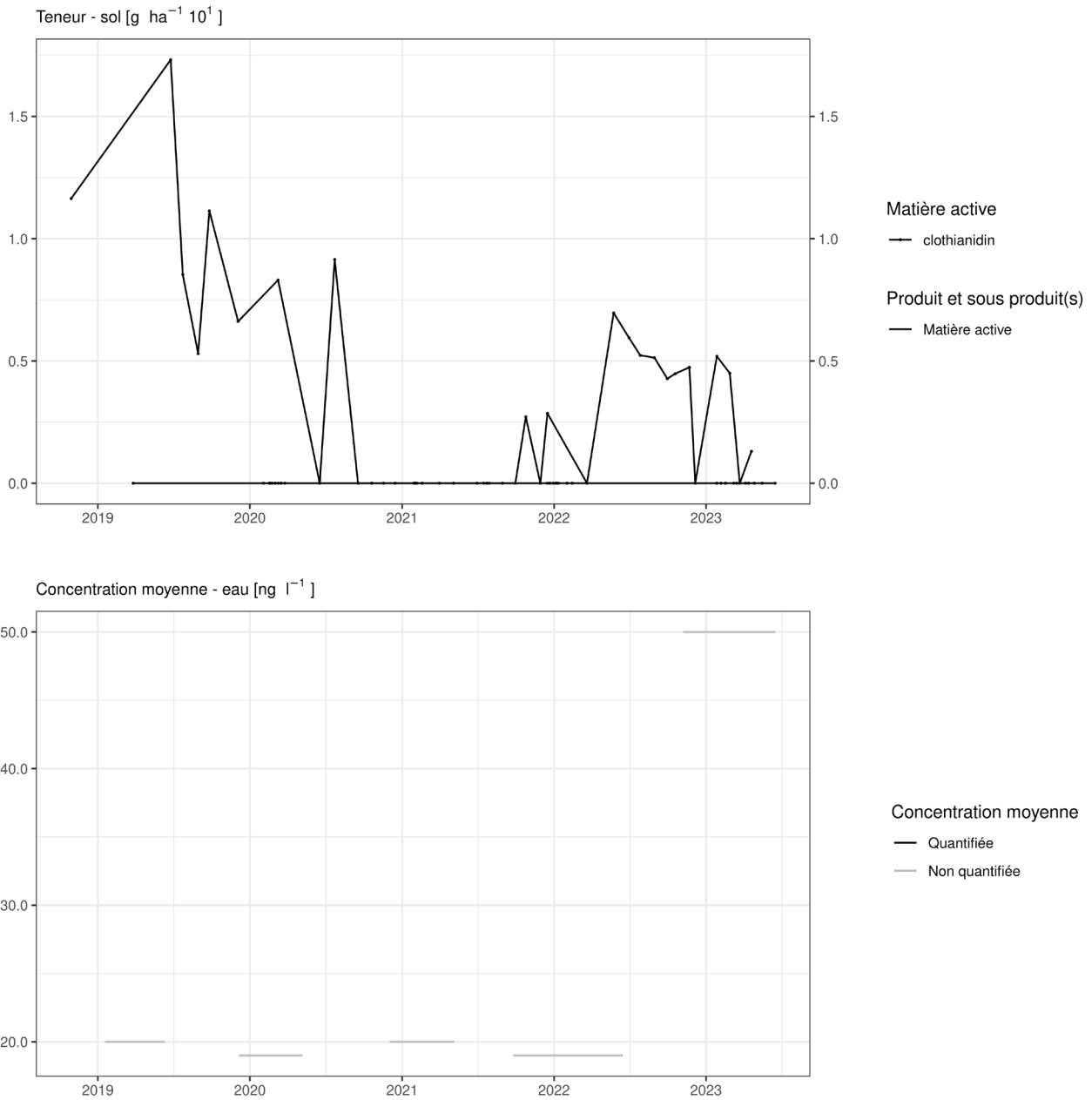


**Figure 56. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR8.**



**Figure 57. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR12.**





**Figure 58. Applications et suivi de la teneur en clothianidine dans la parcelle SR16.**

### EAU

A deux exceptions près, cette matière active n'a pas été quantifiée dans les échantillons d'eau collectés à l'exutoire des lysimètres. Elle est cependant régulièrement détectée en concentration inférieure à la LOQ.

## 4.12. Desmediphame

Le desmediphame est un herbicide utilisé sur culture de betterave dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### SOL

Sur les parcelles Sol-Résidus, un apport d'un peu plus de 300 g/ha a été réalisé au printemps 2019. Deux jours après l'application, la concentration dans le sol est de l'ordre de 200 g/ha. Quelques semaines plus tard, elle est en moyenne de l'ordre d'une centaine de gramme par hectare.

Sur la parcelle Haute Bova, quelques semaines après le traitement, la matière active n'est plus quantifiable dans le sol (figure 60).

Quelques mois après un traitement, l'observations (figure 59) est la suivante : sur la parcelle Chemin de fer, quatre apports totalisant un peu plus de 400 g/ha sont réalisés au printemps 2018. En automne de la même année, la concentration dans le sol est d'un peu moins de 20 g/ha.

Quelques années après le traitement (figures 61 à 64), les observations menées sur les parcelles Sol-Résidus indiquent qu'après un apport d'un peu plus de 150 g/ha au printemps 2017, la substance est présente à une concentration d'environ 1 g/ha en 2019 et n'est plus décelée en 2020.

La même conclusion peut être faite sur la parcelle Chemin de fer.

### EAU

Cette matière active a été appliquée sur la parcelle Haute Bova en 2014. Elle n'a jamais été observée dans l'eau collectée à l'exutoire de ce lysimètre. Elle n'a pas non plus été observée aux exutoires des lysimètres de Sol-Résidus.

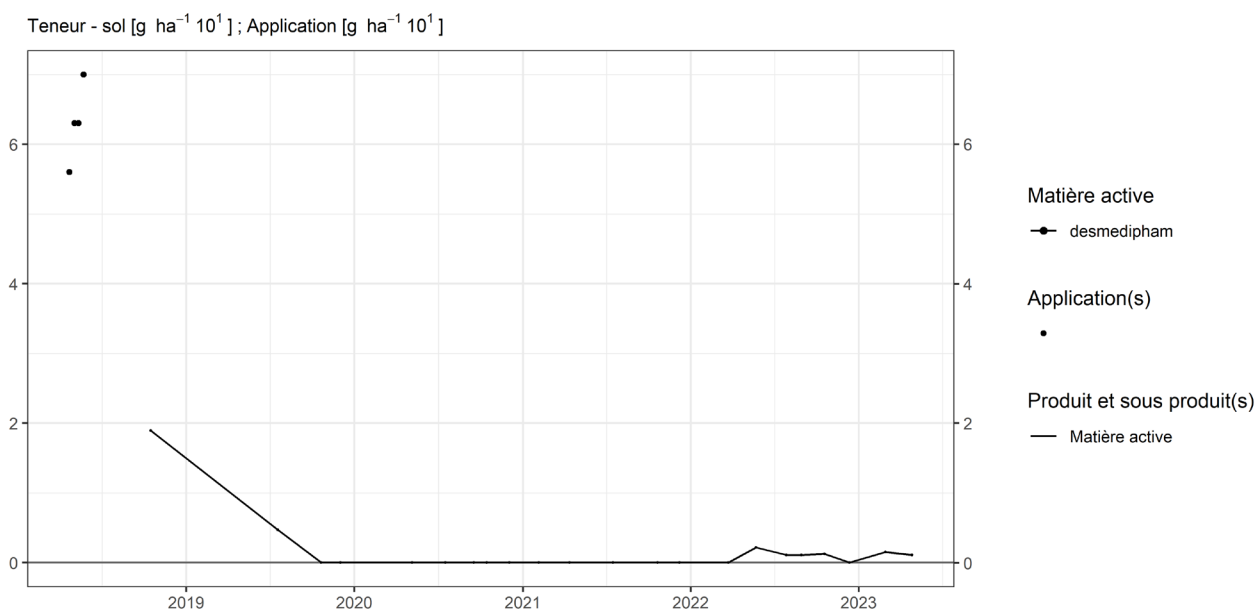
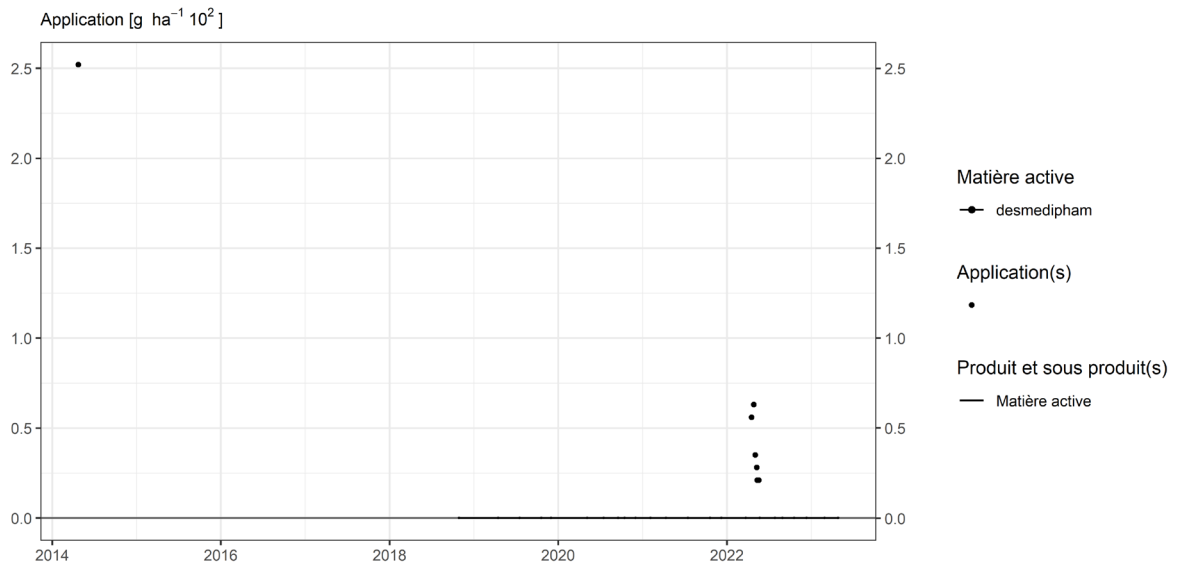
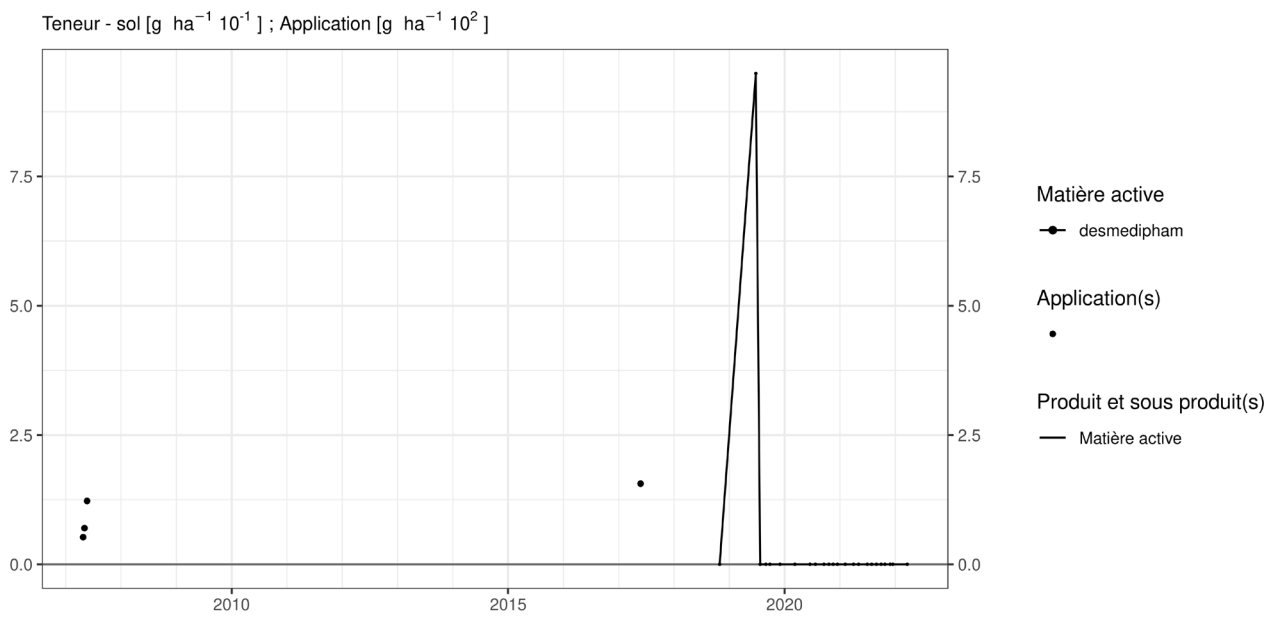


Figure 59. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle Chemin de fer.



**Figure 60. Applications et suivi de la teneur en desmedipham dans la parcelle Haute Bova.**



**Figure 61. Applications et suivi de la teneur en desmedipham dans la parcelle SR4.**

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>0</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]

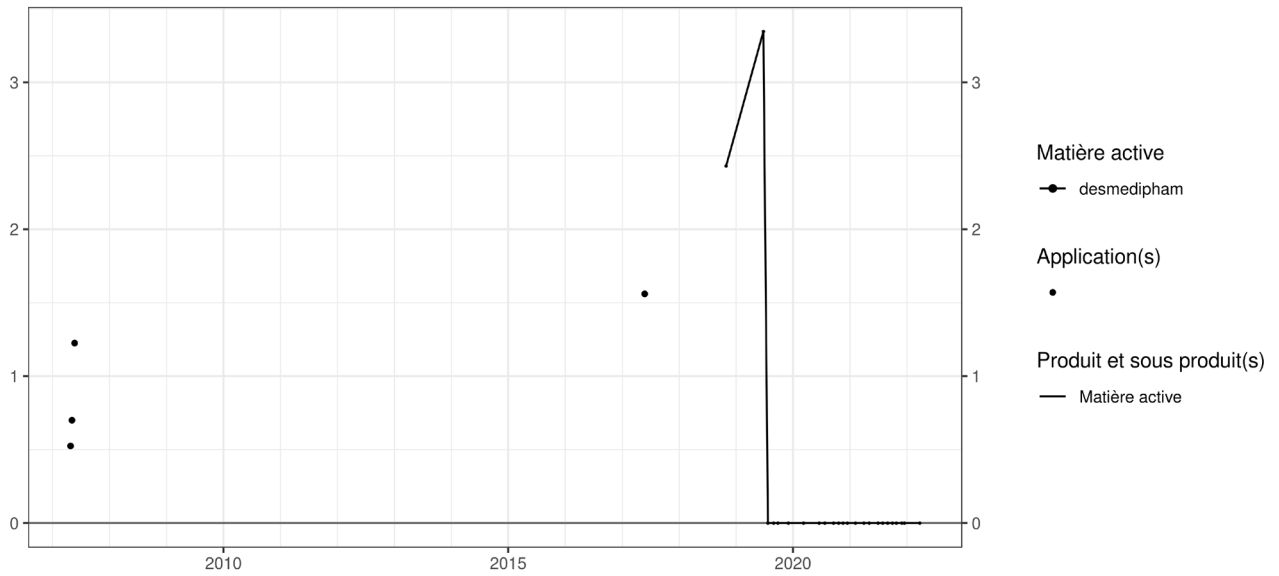


Figure 62. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle SR8.

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>0</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]

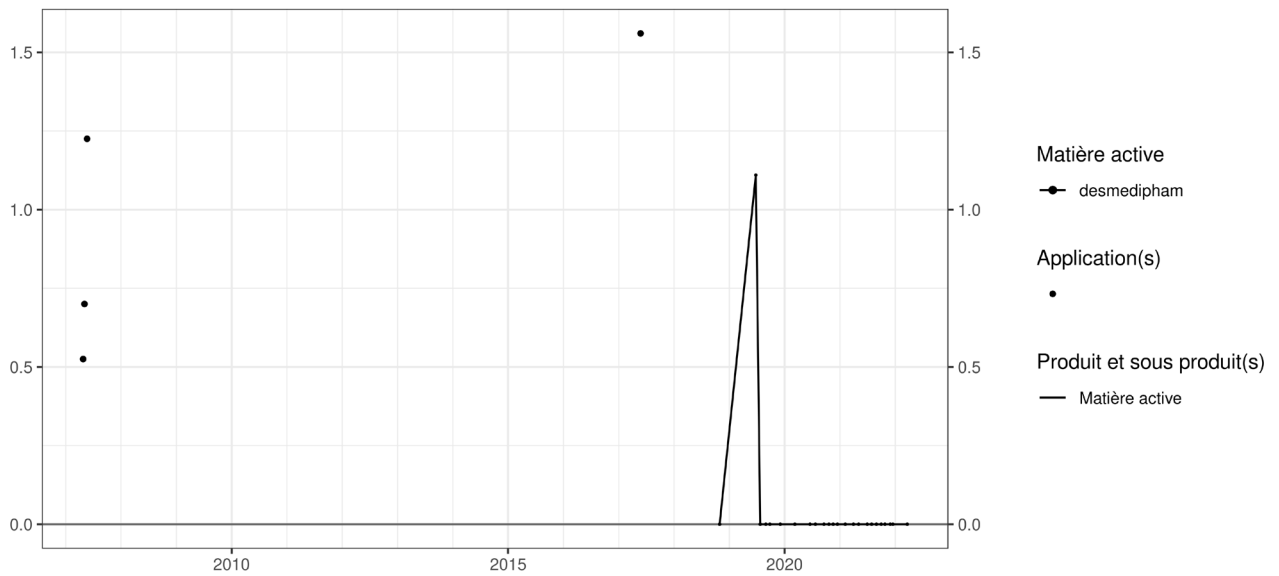
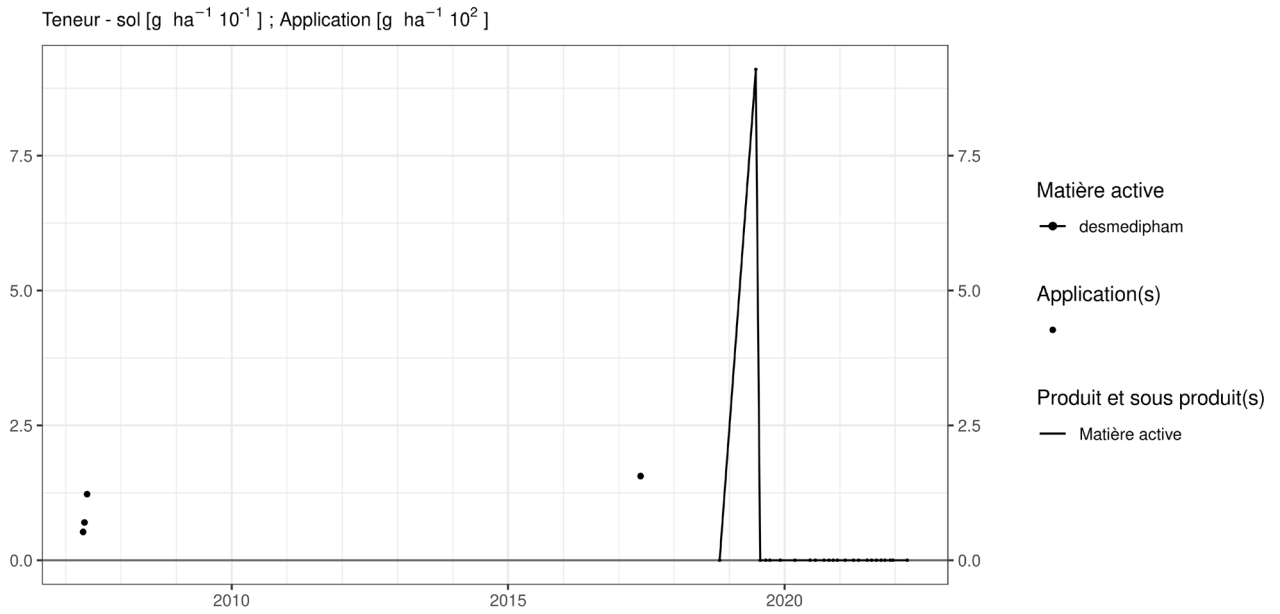


Figure 63. Applications et suivi de la teneur en desmediphame dans la parcelle SR12.



**Figure 64. Applications et suivi de la teneur en desmedipham dans la parcelle SR16.**

### 4.13. Difenoconazole

Le difenoconazole est un fongicide essentiellement utilisé sur culture de betterave ou pomme de terre dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

#### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 65 à 72) sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport d'un peu plus de 100 g/ha en été 2022 conduit à une augmentation de la concentration dans le sol d'un peu plus de 50 g/ha ; un apport d'un peu plus de 100 g/ha en été 2020 conduit à une augmentation de la concentration dans le sol d'un peu plus de 30 g/ha ;
- sur la parcelle Chemin de fer, un apport d'un peu moins de 150 g/ha en été 2019 conduit à une augmentation de la concentration dans le sol d'un peu plus de 100 g/ha ;
- sur la parcelle Bovenistier, un apport de 100 g/ha en été 2019 a conduit à une augmentation d'une dizaine de g/ha observée trois mois après le traitement. En 2020, un apport de 125 g/ha conduit à une concentration équivalente un mois et demi après l'application ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, une application de 125g/ha en été 2021 conduit à une augmentation de la concentration dans le sol d'une vingtaine de g/ha pour trois des quatre micro parcelles et d'une centaine de g/ha pour la quatrième (SR12).

A court terme (quelques semaines), un apport d'une centaine de grammes de matière active par hectare engendre un résidu équivalent à quelques dizaines de gramme par hectare dans le sol, voire, dans deux des huit cas, à une (augmentation de) concentration dans le sol presque équivalente à l'apport.

Une ou plusieurs années après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport d'un peu plus de 50 g/ha en été 2018 conduit à une concentration dans le sol de moins de 20 g/ha deux ans après le traitement ;
- sur la parcelle Chemin de fer, un apport d'un peu moins de 125 g/ha en été 2014 conduit à une concentration dans le sol d'un peu plus de 50 g/ha quatre ans après le traitement ;
- sur la parcelle Bovenistier, deux apports d'environ 120 g/ha réalisés en été 2012 et 2013 conduisent à une concentration de moins de 10 g/ha six ans après l'apport ;
- sur la parcelle Sole 4, un apport de 95 g/ha en été 2017 conduit à une concentration d'une dizaine de grammes par hectare cinq ans après le traitement ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, une application d'un peu plus de 100 g/ha ont été apportée au printemps 2017. Quatre ans plus tard, la concentration dans le sol est de l'ordre de 10 g/ha.

A plus long terme (environ quatre ans après l'apport), la concentration dans le sol est décroissante et de l'ordre de 10 g/ha, à l'exception de la parcelle Chemin de fer où la concentration (une seule observation) est de l'ordre de 50 g/ha avec néanmoins un apport initial plus important.

#### **EAU**

Cette matière active n'a jamais été quantifiée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des huit lysimètres. Elle a cependant régulièrement été observée en concentration inférieure à la LOQ.

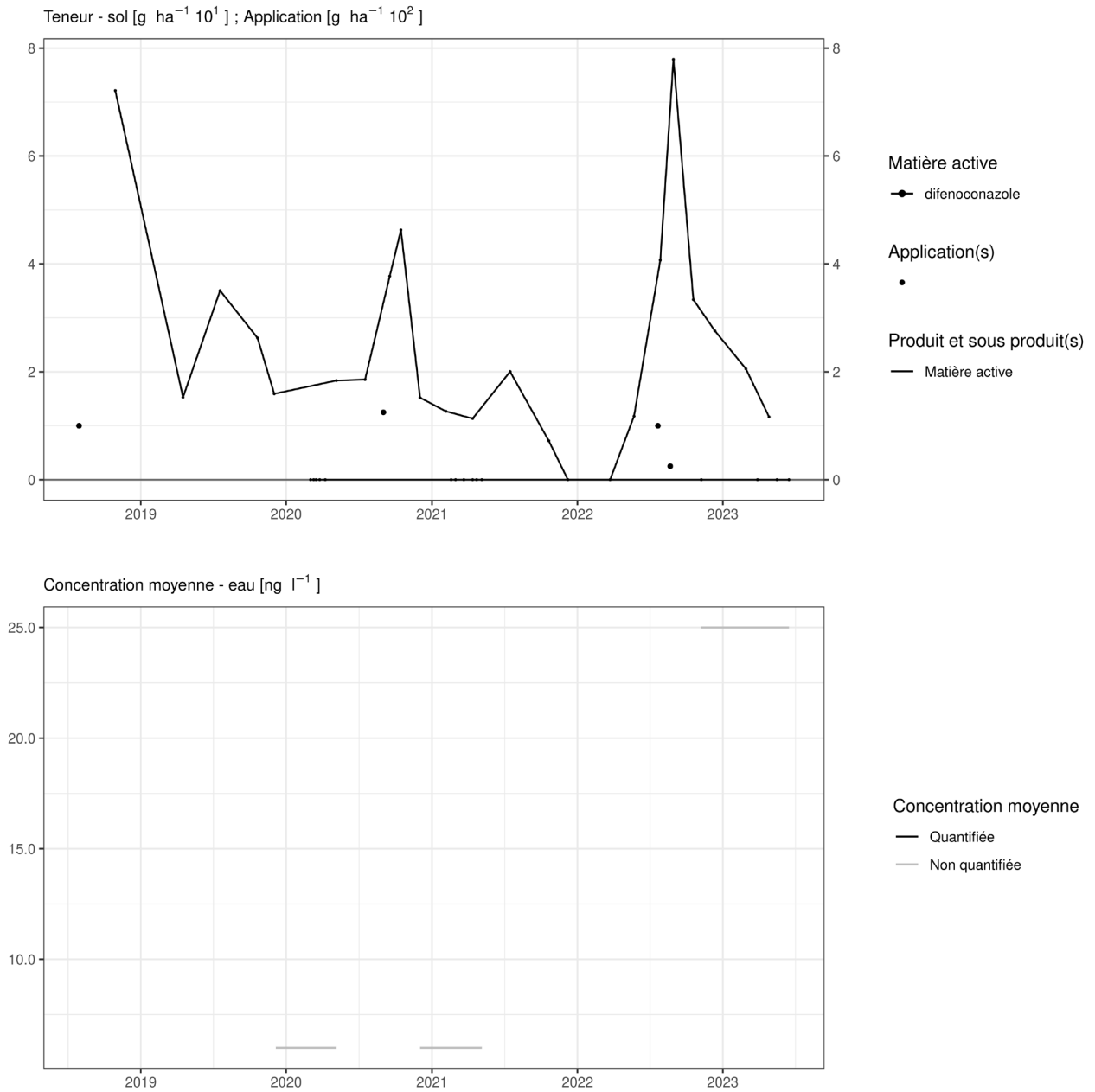
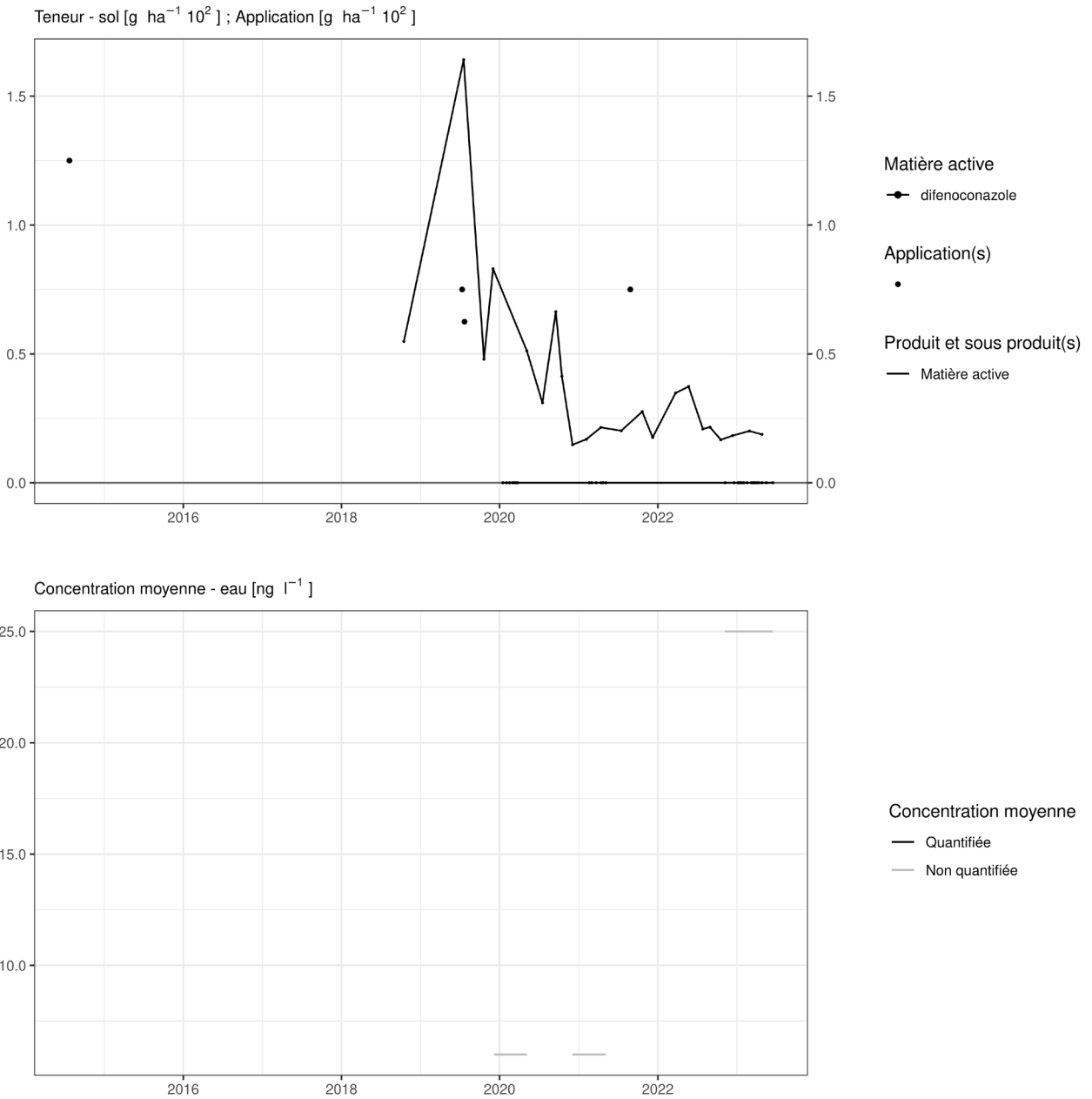
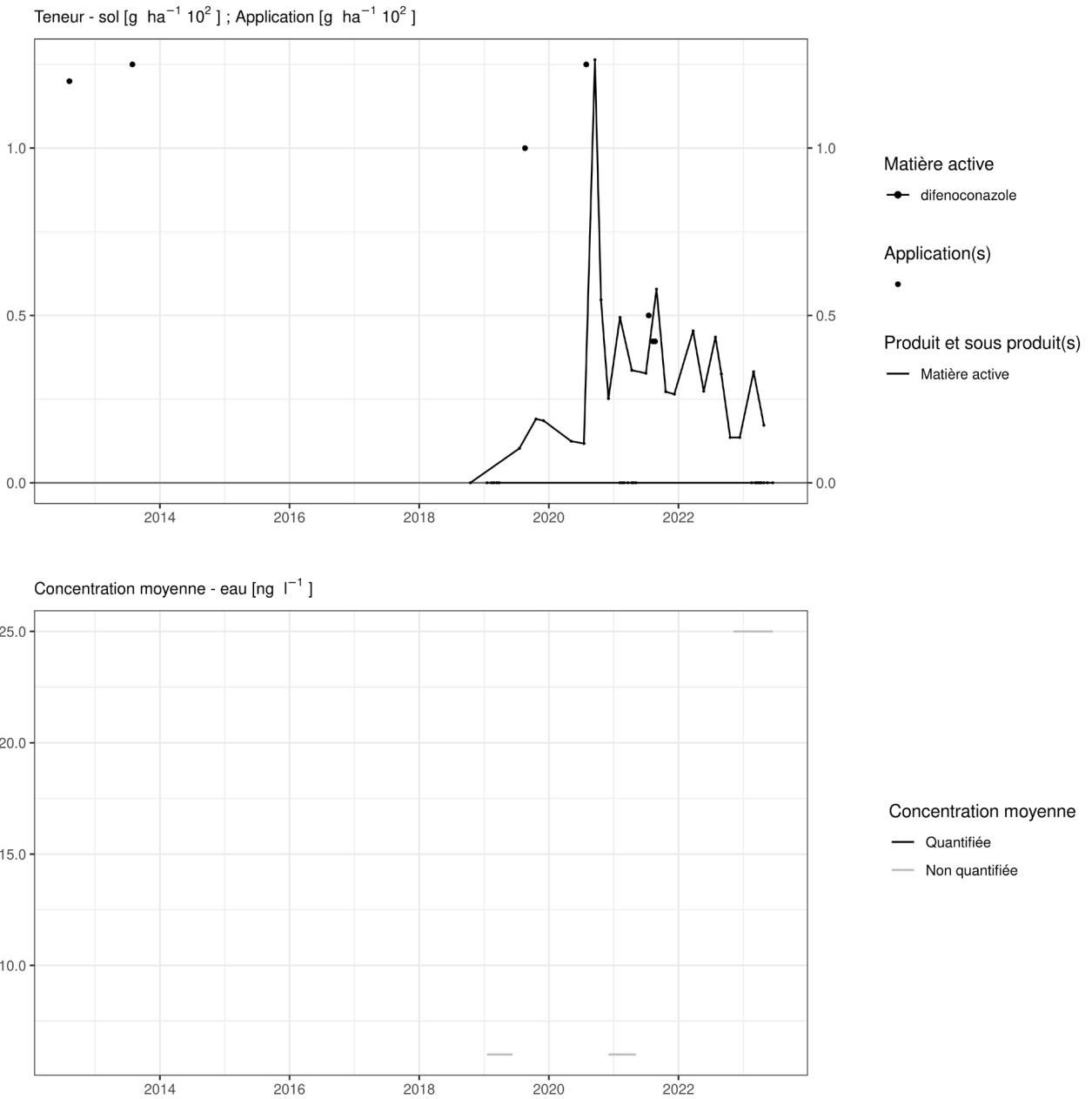


Figure 65. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Haute Bova.

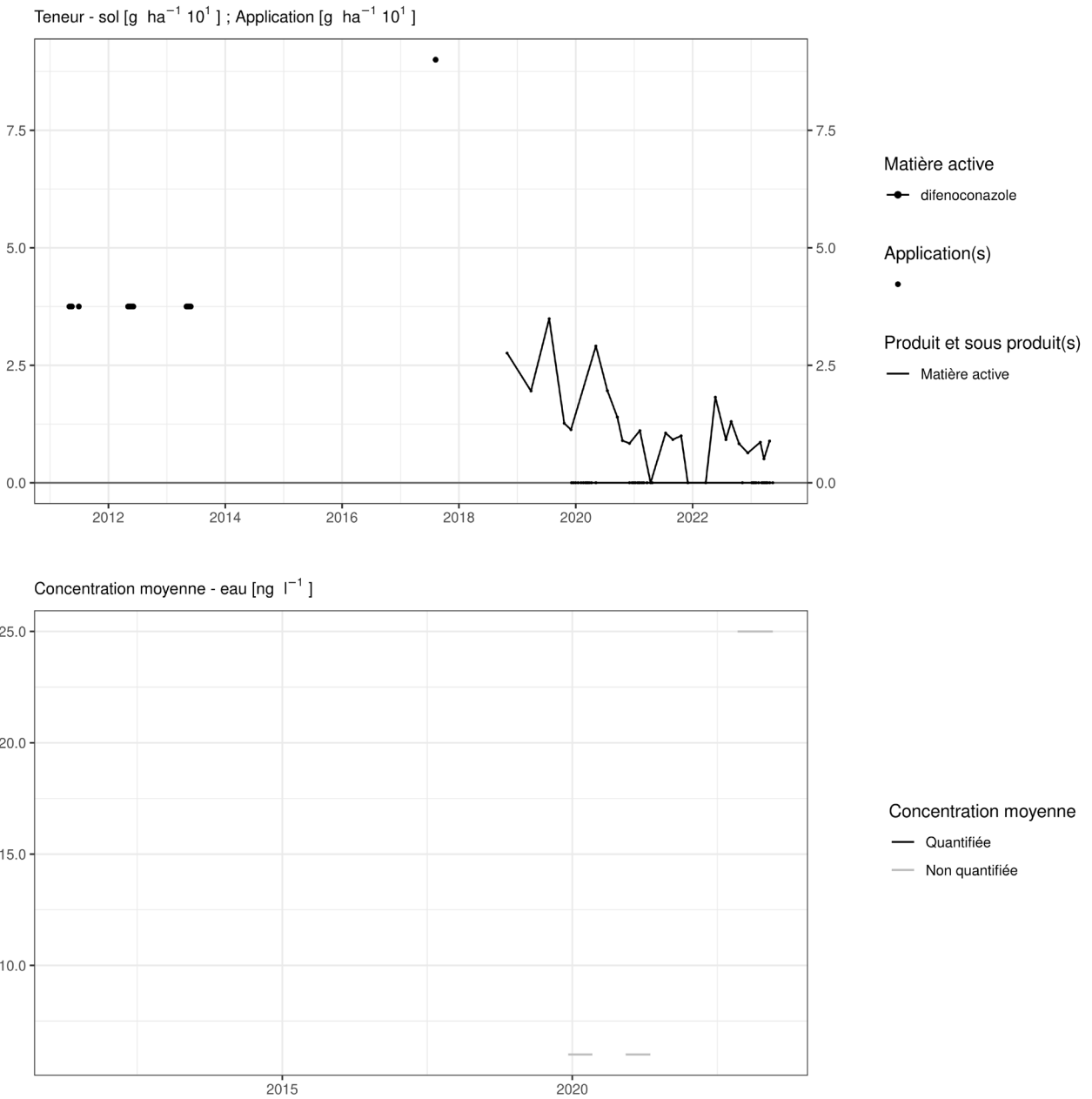


**Figure 66. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Chemin de fer.**

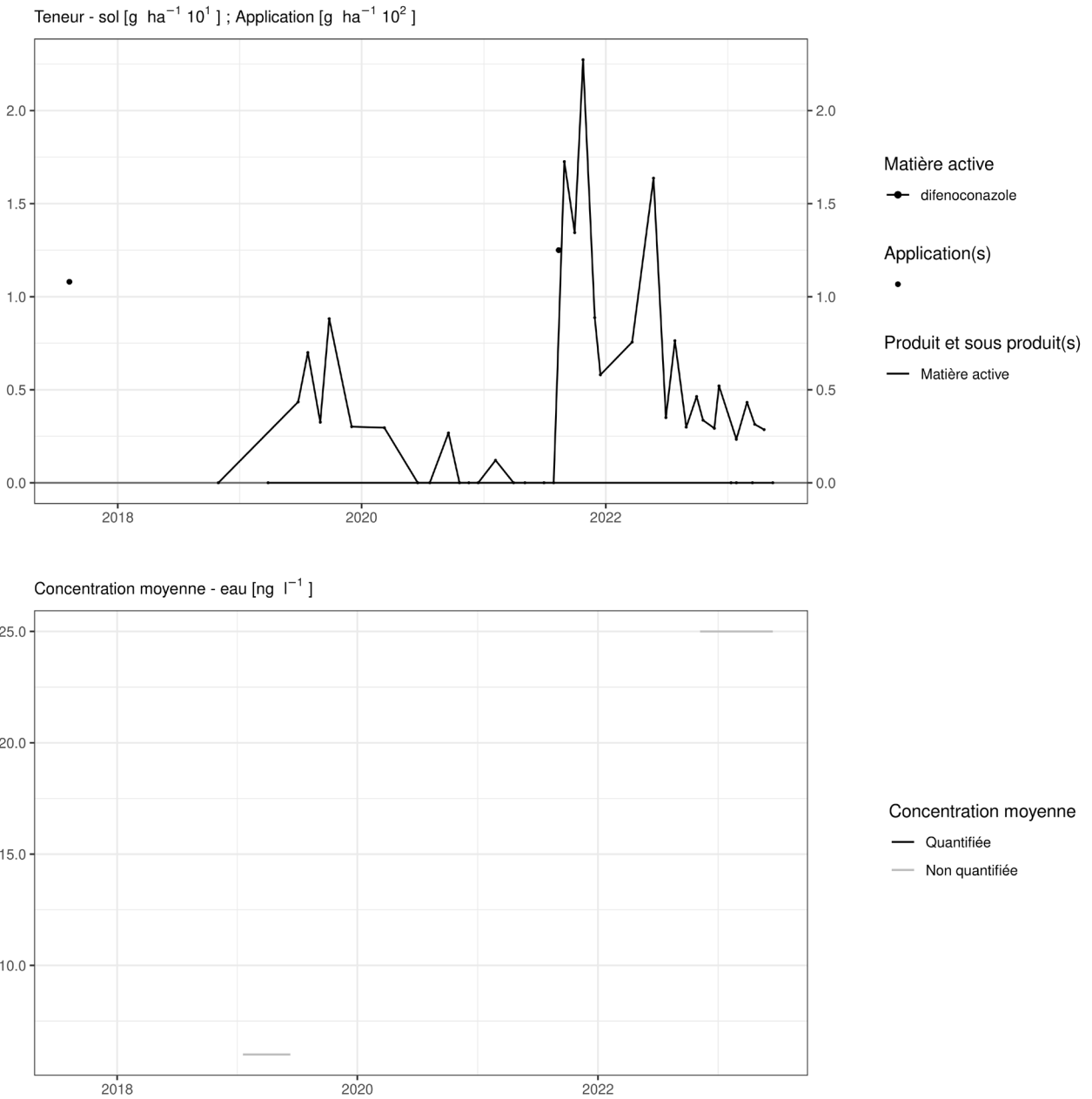




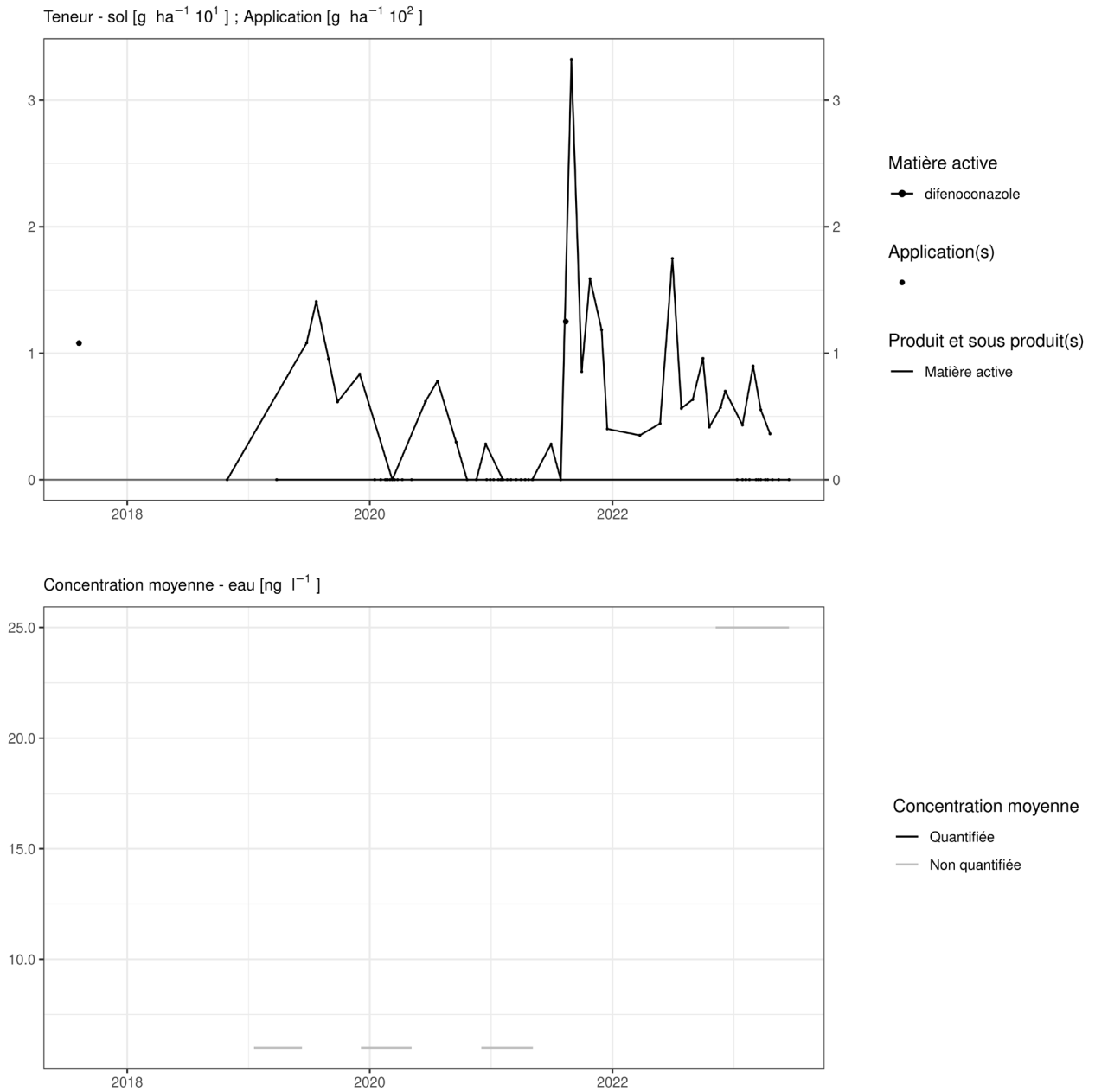
**Figure 67. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Bovenistier.**



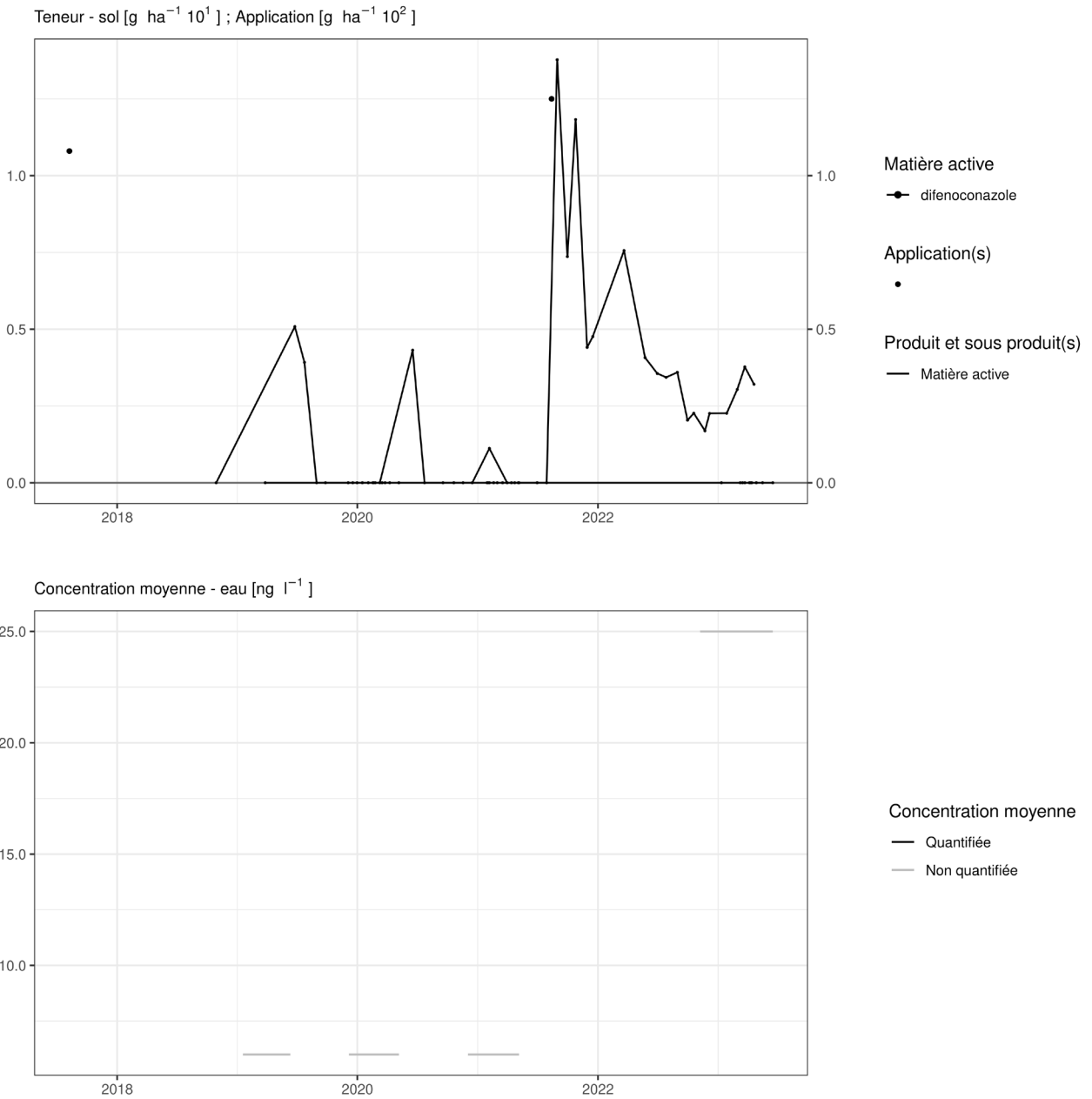
**Figure 68. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle Sole 4.**



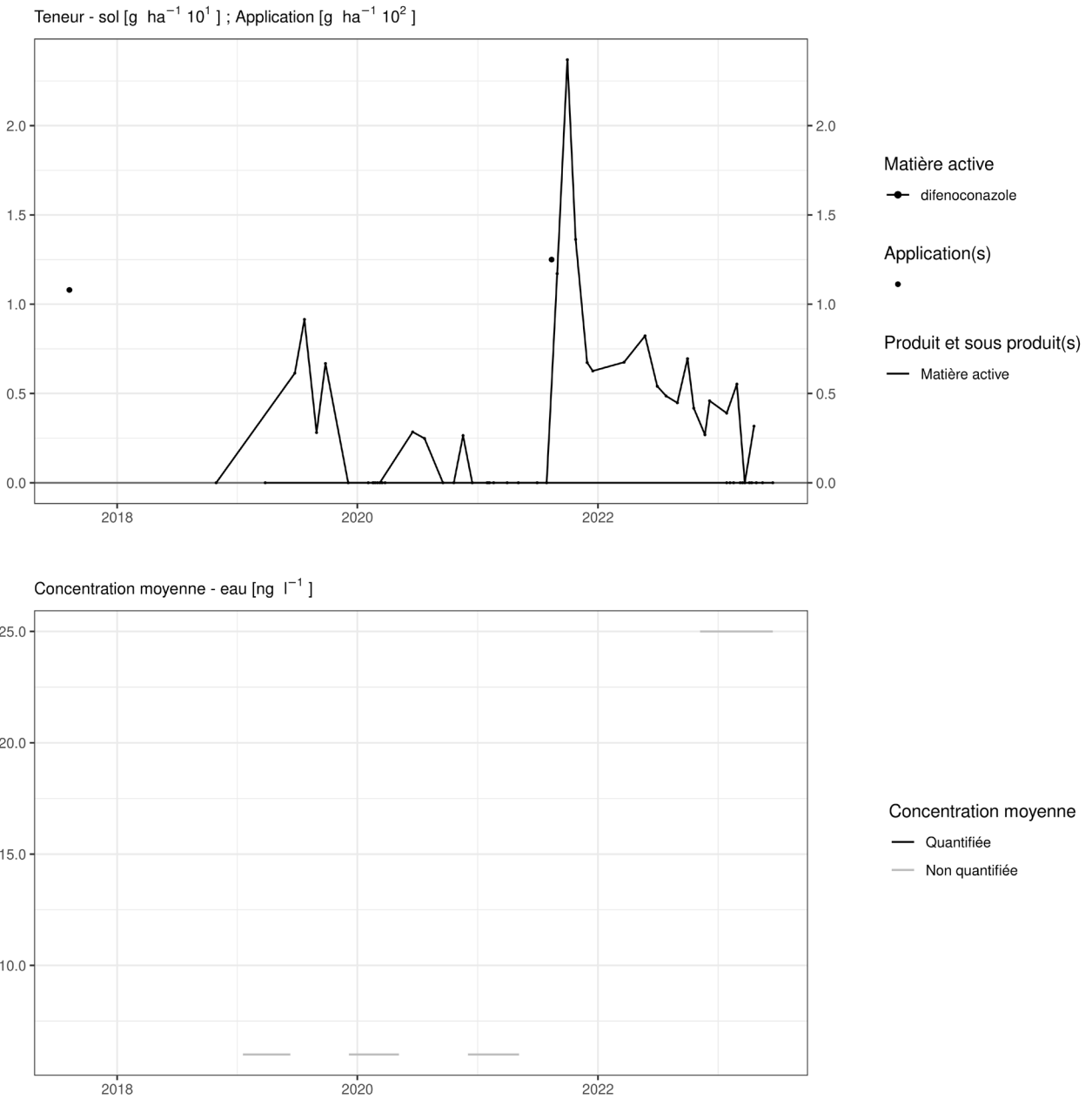
**Figure 69. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR4.**



**Figure 70. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR8.**



**Figure 71. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR12.**



**Figure 72. Applications et suivi de la teneur en difenoconazole dans la parcelle SR16.**

## 4.14. Dimethanamide-P

Le dimethanamide-P est un herbicide essentiellement utilisé sur culture de betterave dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 73 à 79) sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, deux apports pour un total de 250 g/ha au printemps 2020 conduisent à une concentration dans le sol de 34 g/ha et un apport de 290 g/ha au printemps 2022 conduit à une concentration dans le sol de 110 g/ha ;
- sur la parcelle Chemin de fer, un apport de 145 g/ha au printemps 2022 conduit à une concentration de 23 g/ha ;
- sur la parcelle Bovenistier, deux apports pour un total d'un peu plus de 500 g/ha au printemps 2019 conduisent à une concentration de 45 g/ha ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport d'un peu plus de 500 g/ha au printemps 2021 conduit à une concentration dans le sol d'environ 30 g/ha.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

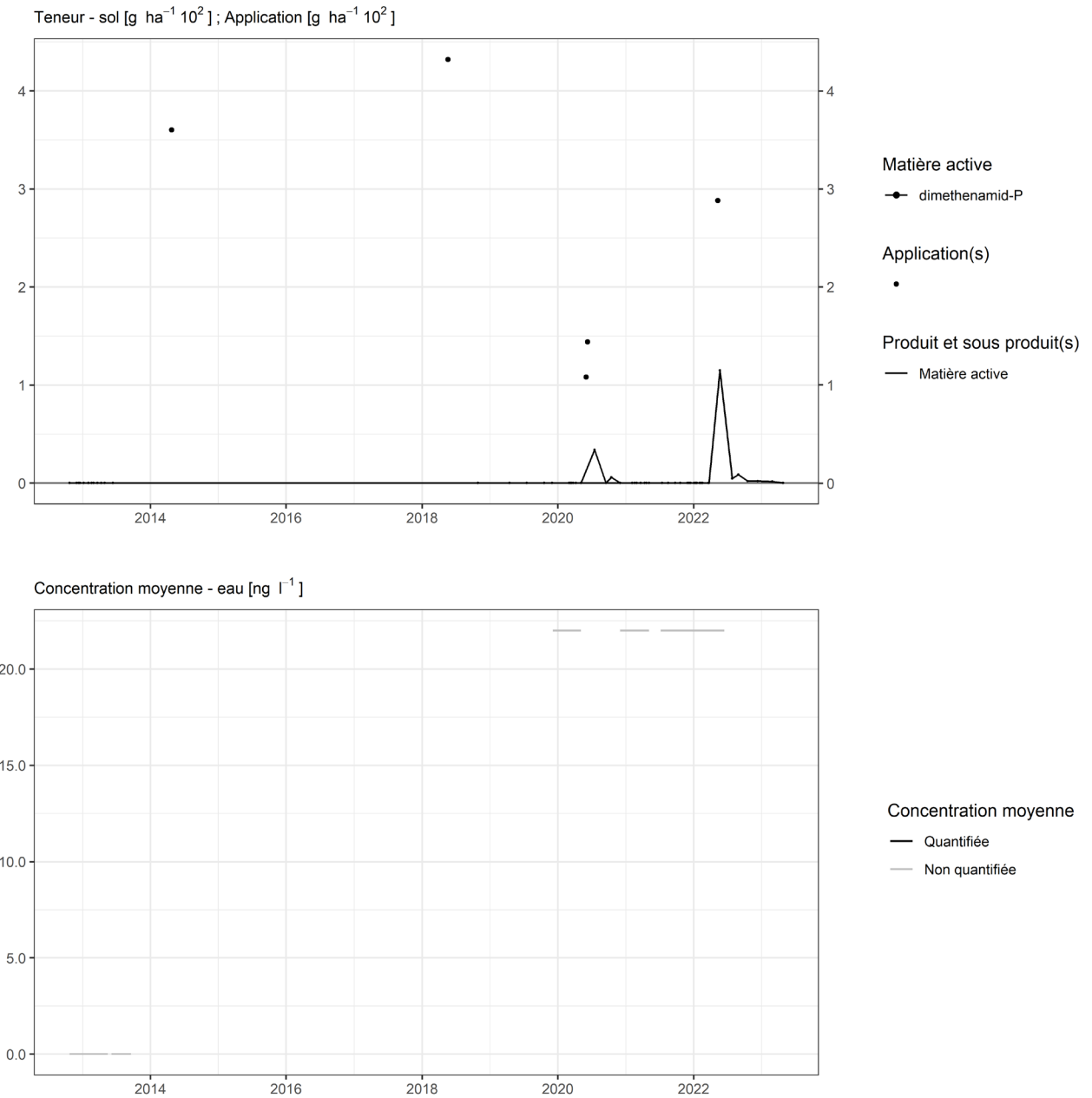
- sur la parcelle Haute Bova, les apports réalisés aux printemps 2018, 2020 et 2022 ne sont plus décelés dans les analyses de sol ;
- sur la parcelle Bovenistier, les apports réalisés au printemps 2019 ne sont plus décelés dans les analyses de sol ;
- Sur la parcelle Chemin de fer, l'apport de 145 g/ha réalisé au printemps 2022 est décelé dans le sol à une concentration de 5 g/ha ;
- sur la parcelle Sole 4, les deux apports réalisés au printemps 2017 ne sont pas décelés dans les analyses de sol réalisées à partir de l'automne 2018;
- sur les parcelles Sol-Résidus, l'apport réalisé au printemps 2017 n'est pas décelé dans les analyses de sol réalisées à partir de l'automne 2018.

Cette matière active est donc rapidement dégradée dans le sol.

### **EAU**

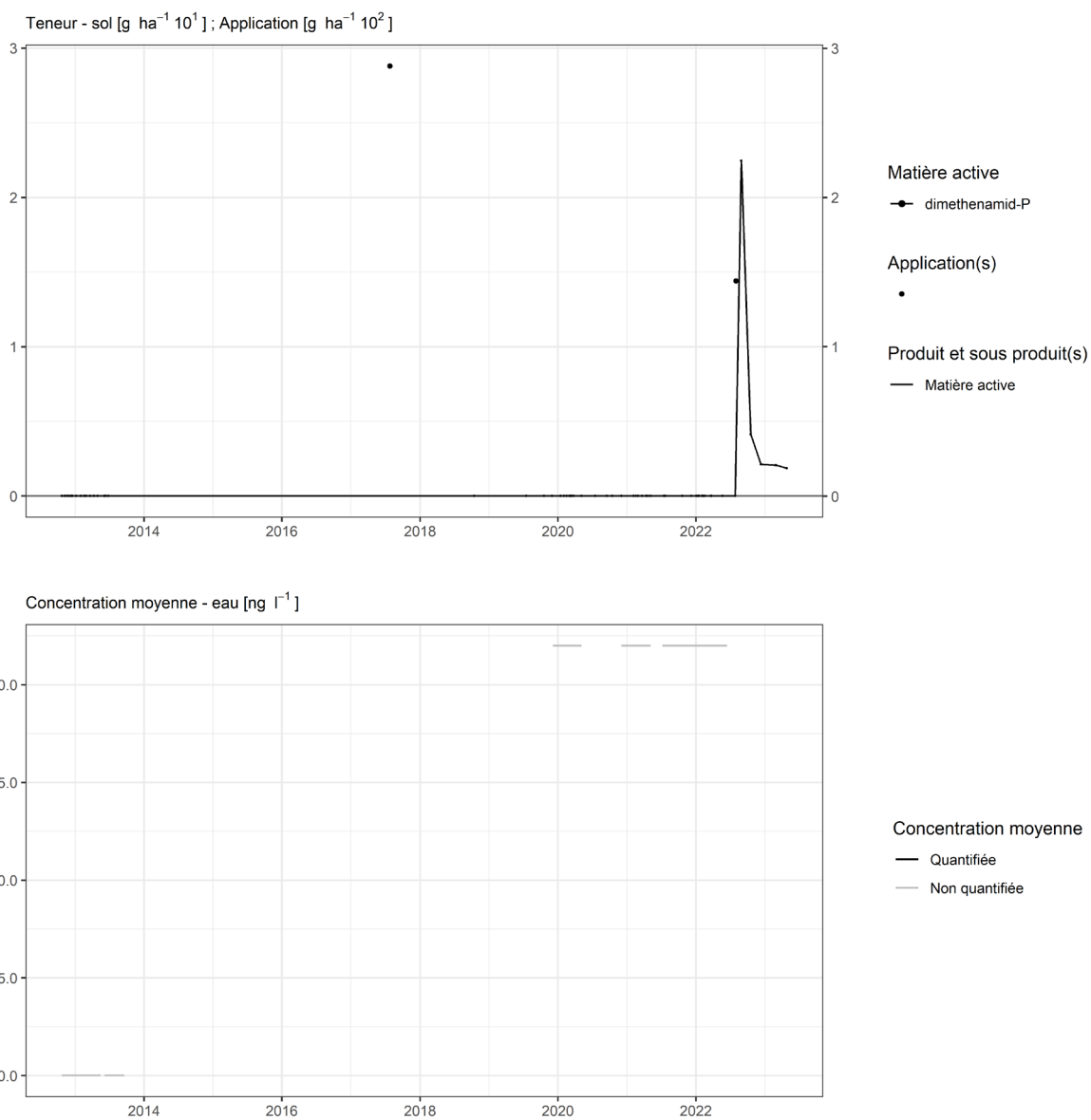
Cette matière active a sporadiquement été observée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires de trois lysimètres de la parcelle Sol-Résidus : les flux étaient compris entre 0,004 g/ha et 0,09 g/ha ; soit au maximum 0,02% de la quantité apportée.

Les concentrations moyennes (saison de drainage) sont inférieures à la LOQ.

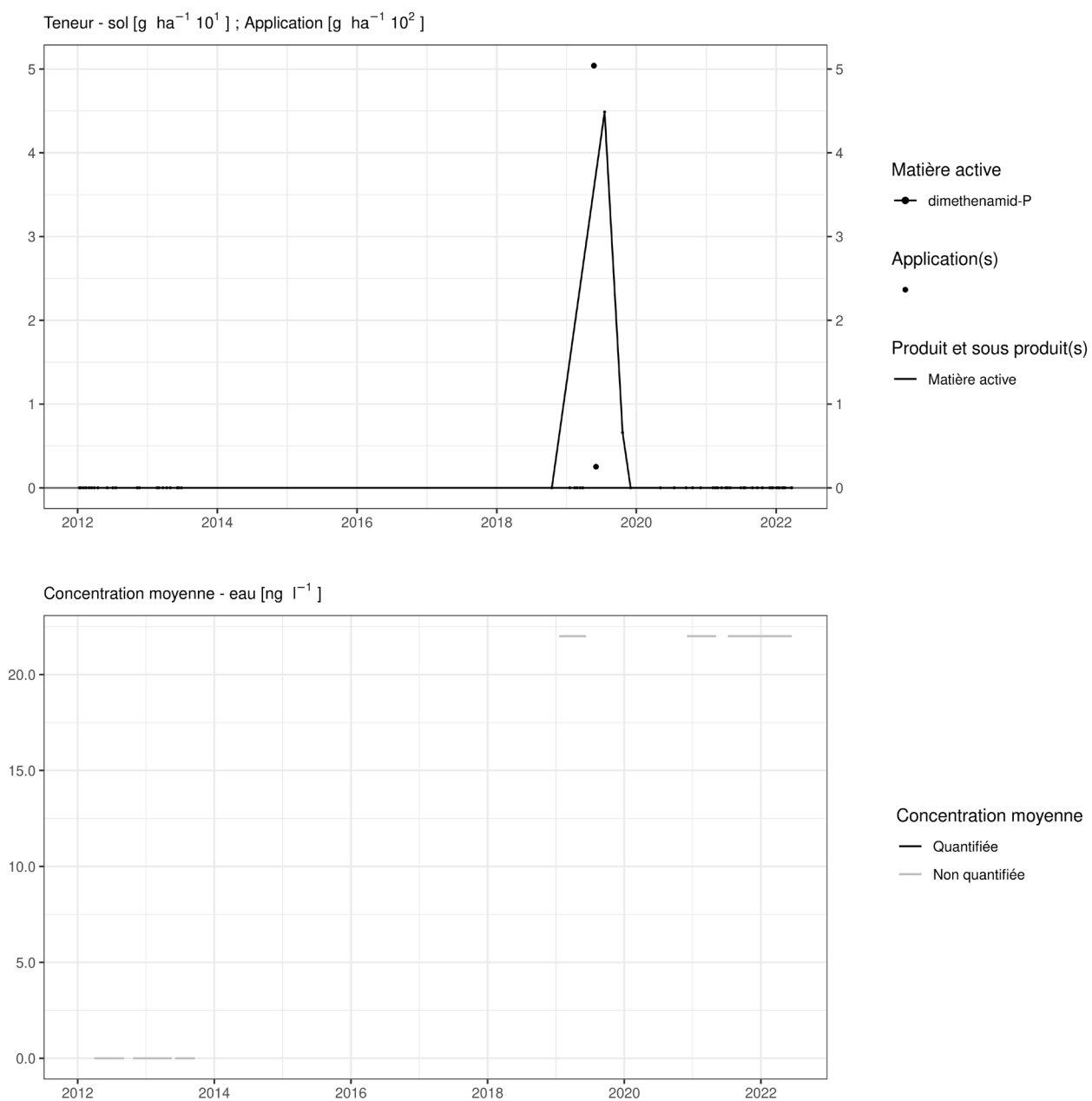


**Figure 73. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle Haute Bova.**

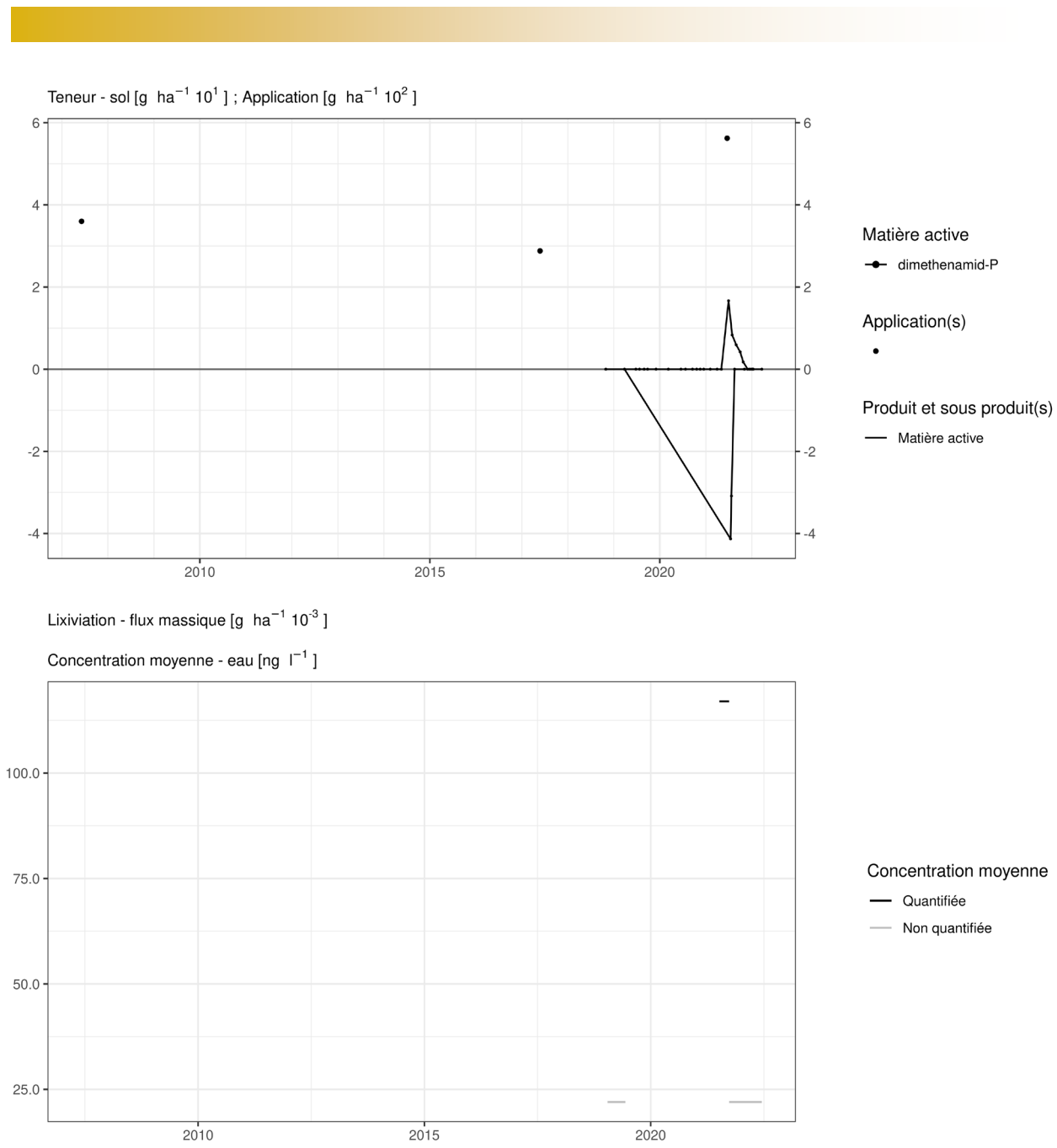




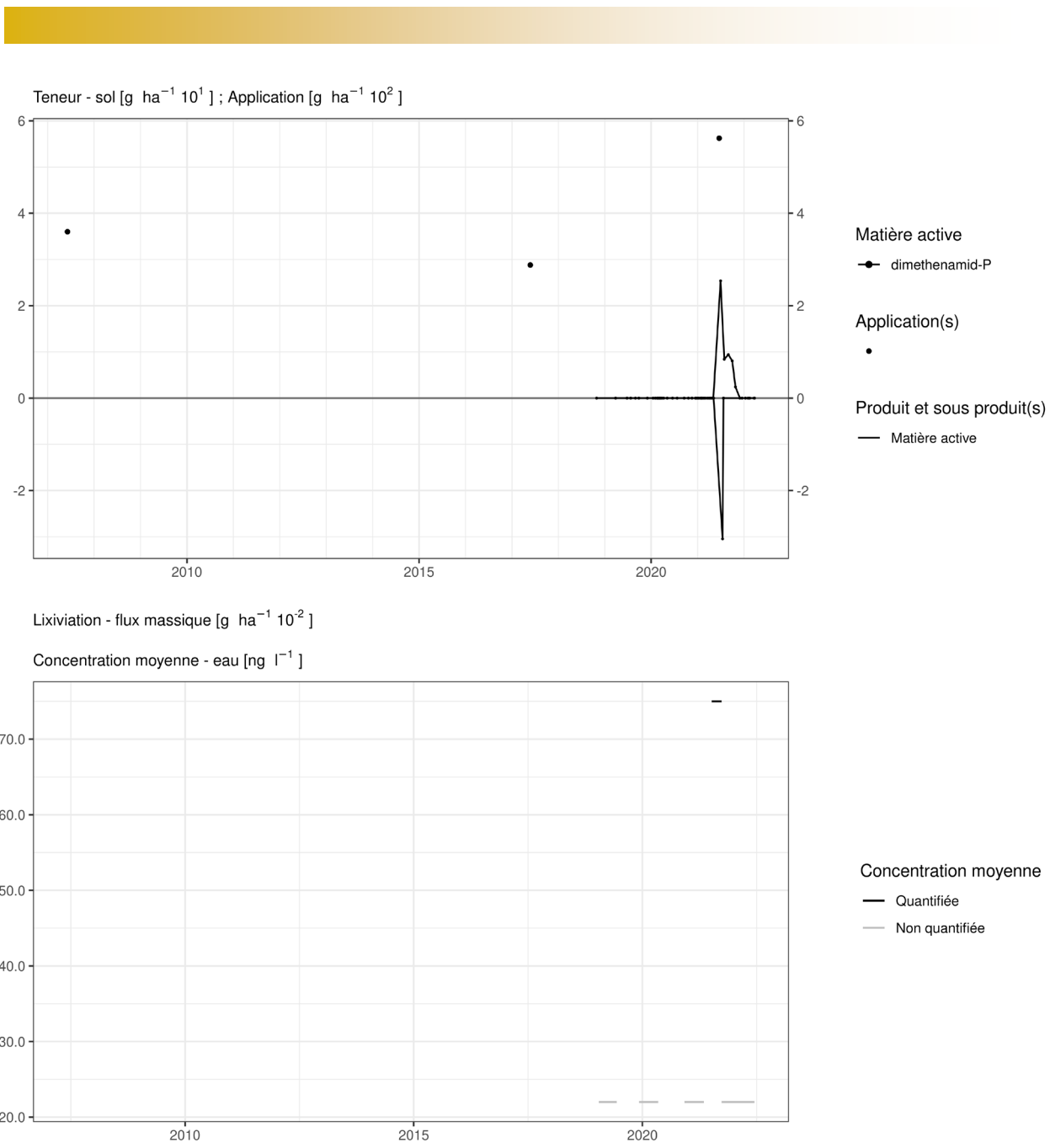
**Figure 74. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle Chemin de fer.**



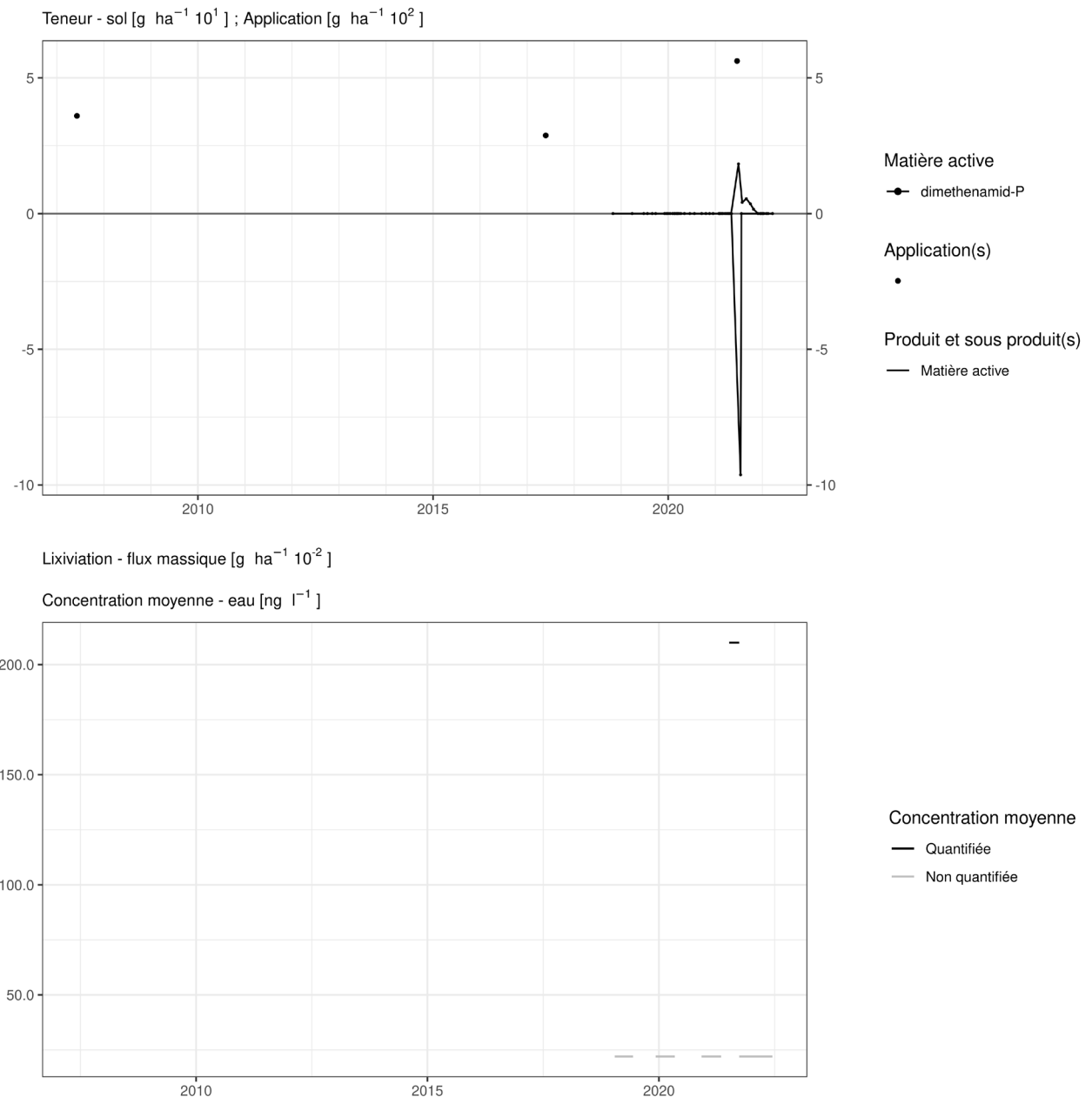
**Figure 75. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle Bovenistier.**



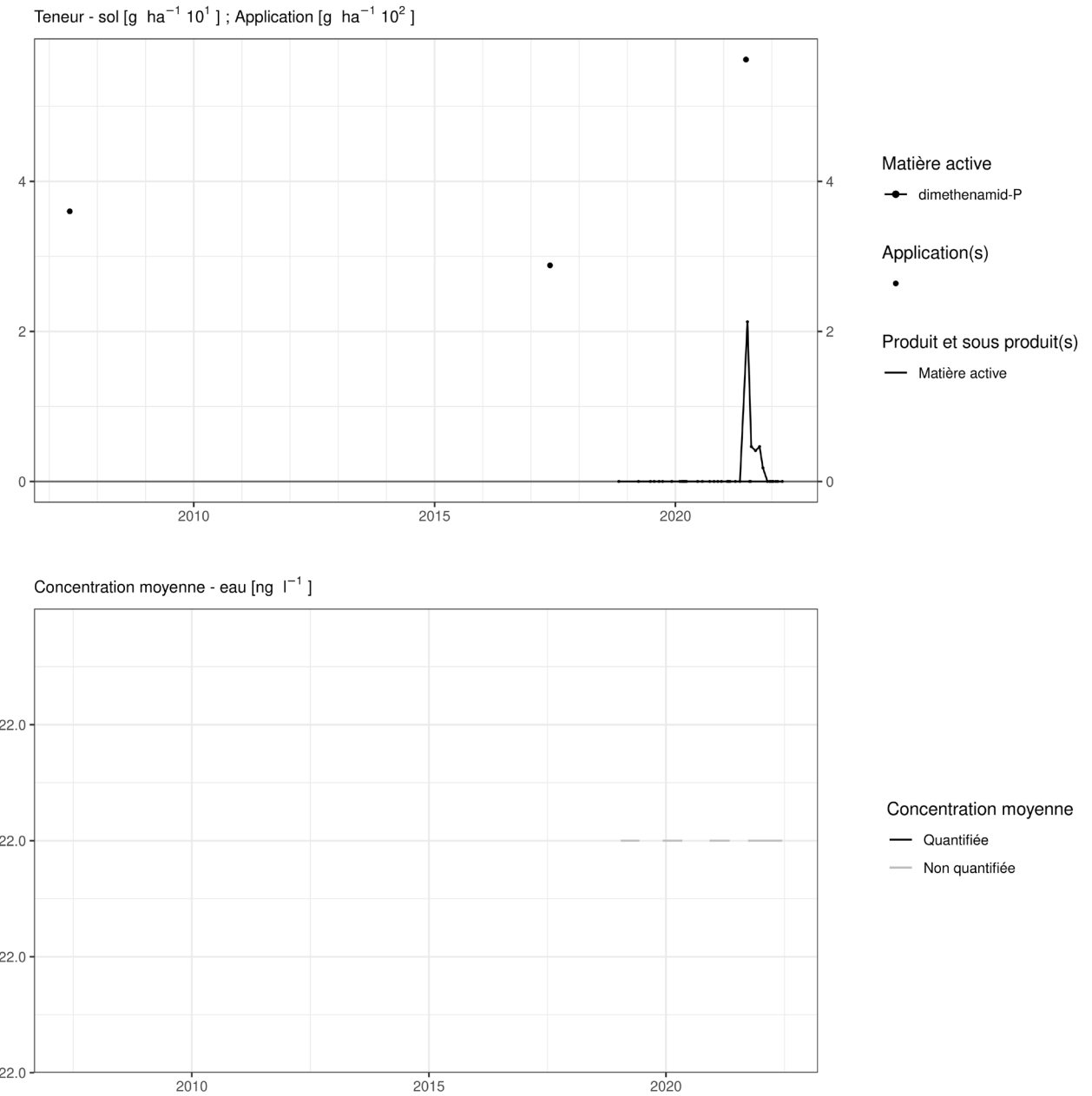
**Figure 76. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR4.**



**Figure 77. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR8.**



**Figure 78. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR12.**



**Figure 79. Applications et suivi de la teneur en dimethanamide dans la parcelle SR16.**

## 4.15. Epoxiconazole

L'epoxiconazole est un fongicide essentiellement utilisé sur culture de froment dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### SOL

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 80 à 87) sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, un apport d'un peu moins de 90 g/ha au printemps 2020 conduit à une augmentation équivalente de la concentration dans le sol ;

Une ou plusieurs années après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, deux apports d'environ 100 g/ha réalisés au printemps 2012 conduisent à une concentration dans le sol de l'ordre de 100 g/ha cinq ans après les traitements ;
- sur la parcelle Bovenistier, un apport d'environ 85 g/ha réalisé en 2015 conduit à une concentration de moins de 10 g/ha cinq ans après l'apport ;
- sur la parcelle Sole 4, deux apports réalisés en 2017 et 2018 pour un total de 140 g/ha conduisent à une concentration d'une trentaine de grammes par hectare quatre-cinq ans après les traitements ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, cinq applications d'environ 100 g/ha ont été réalisées tous les deux ans entre 2006 et 2016. Cinq ans après le dernier traitement, la concentration dans le sol est de l'ordre de 100 g/ha.

A plus long terme (environ quatre ans après l'apport), la concentration résiduelle dans le sol dépend fortement de la fréquence d'apport : si celle-ci est faible (un seul apport en quelques années), la concentration dans le sol est environ dix fois moindre que l'apport (Bovenistier). A l'inverse, si les apports sont fréquents (Sol-Résidus), la concentration dans le sol est équivalente au « dernier » apport. Des situations intermédiaires se rapprochent tantôt du premier cas de figure (Sole 4), tantôt du second (Chemin de fer)

### EAU

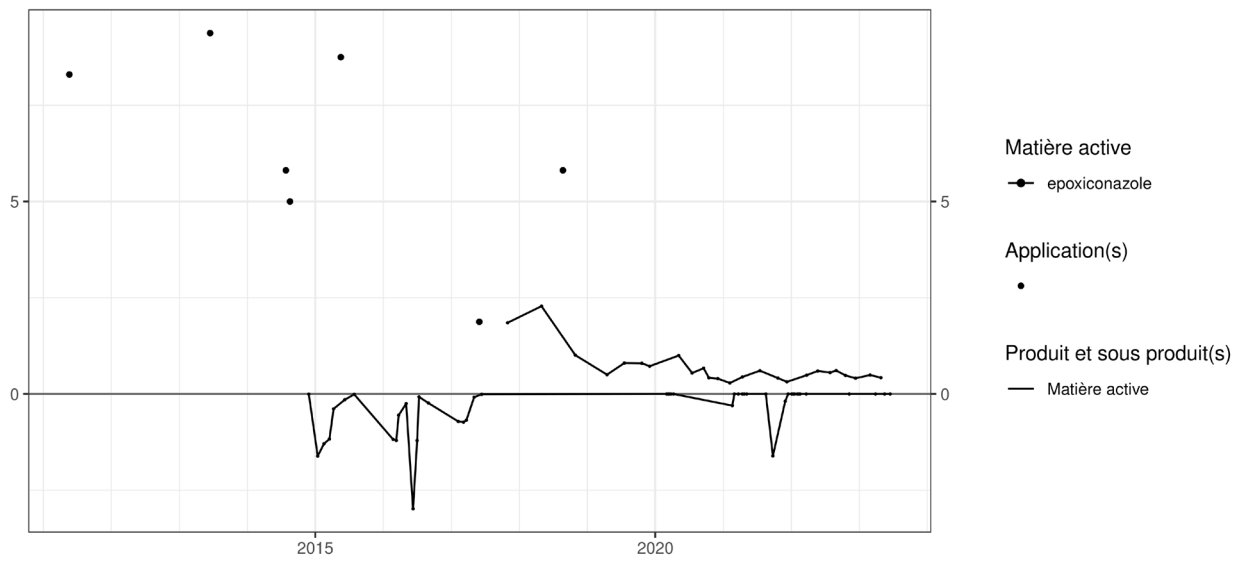
Cette matière active a sporadiquement été observée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des huit lysimètres :

- sur la parcelle Haute Bova, des flux de quelques centièmes de grammes par hectare ont été observés entre 2015 et 2017. Les concentrations associées à ces flux étaient de l'ordre de la trentaine de nanogrammes par litre. En 2021, cette substance a été détectée dans trois des dix échantillons d'eau collectés, correspondant à un flux total de 0,02 g/ha (à mettre en relation avec les 80 g/ha appliqués entre 2017 et 2018, voire une partie des applications antérieures) ;
- sur la parcelle Chemin de fer, contrairement à la parcelle Haute Bova, aucun flux n'a été observé au cours de la période 2015-2017. En 2022, un flux d'un peu plus de 0,02 g/ha a été observé à l'exutoire ;
- sur les parcelles Bovenistier et Sole 4, les échantillons d'eau analysés depuis 2014 n'ont jamais révélé la présence de cette substance ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, cette substance a été observée dans la parcelle SR16 en 2021, correspondant respectivement à un flux de  $2 \cdot 10^{-3}$  g/ha.

En termes de bilan de masse, la part de la substance lixiviée au-delà de la zone racinaire est nulle dans cinq des parcelles et n'excède pas 0,025 % dans les trois autres parcelles.

La concentration observée à l'échelle d'une saison de drainage est inférieure à la LOQ à l'exception de la parcelle Haute Bova qui présente une fréquence d'usage plus importante (quasi annuelle).

Teneur - sol [ $\text{g ha}^{-1} 10^2$ ]; Application [ $\text{g ha}^{-1} 10^1$ ]



Lixiviation - flux massique [ $\text{g ha}^{-1} 10^2$ ]

Concentration moyenne - eau [ $\text{ng l}^{-1}$ ]

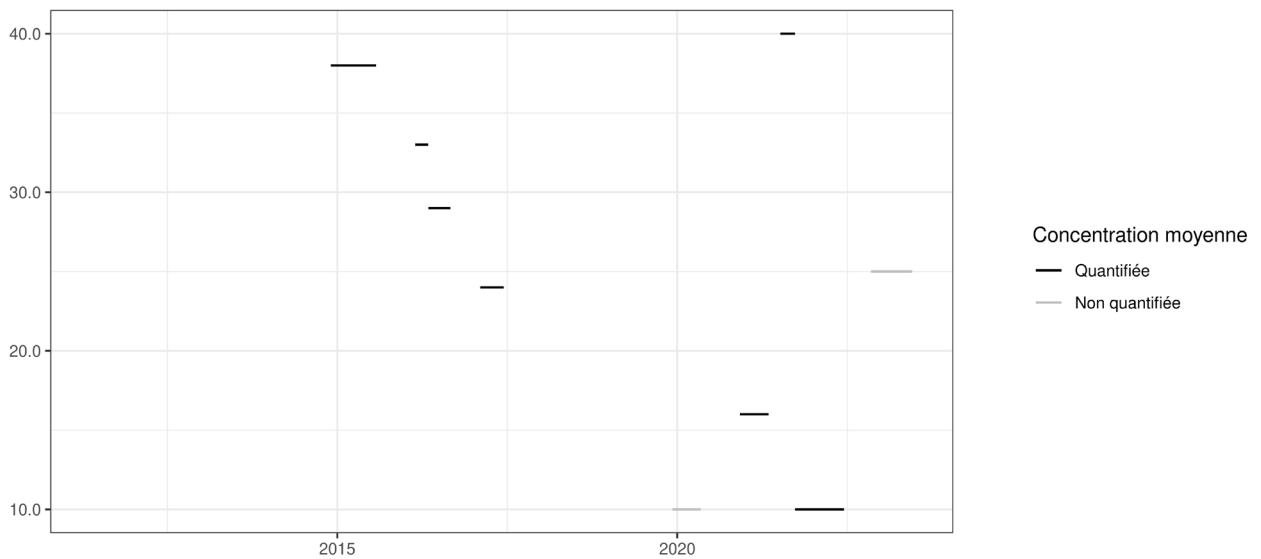
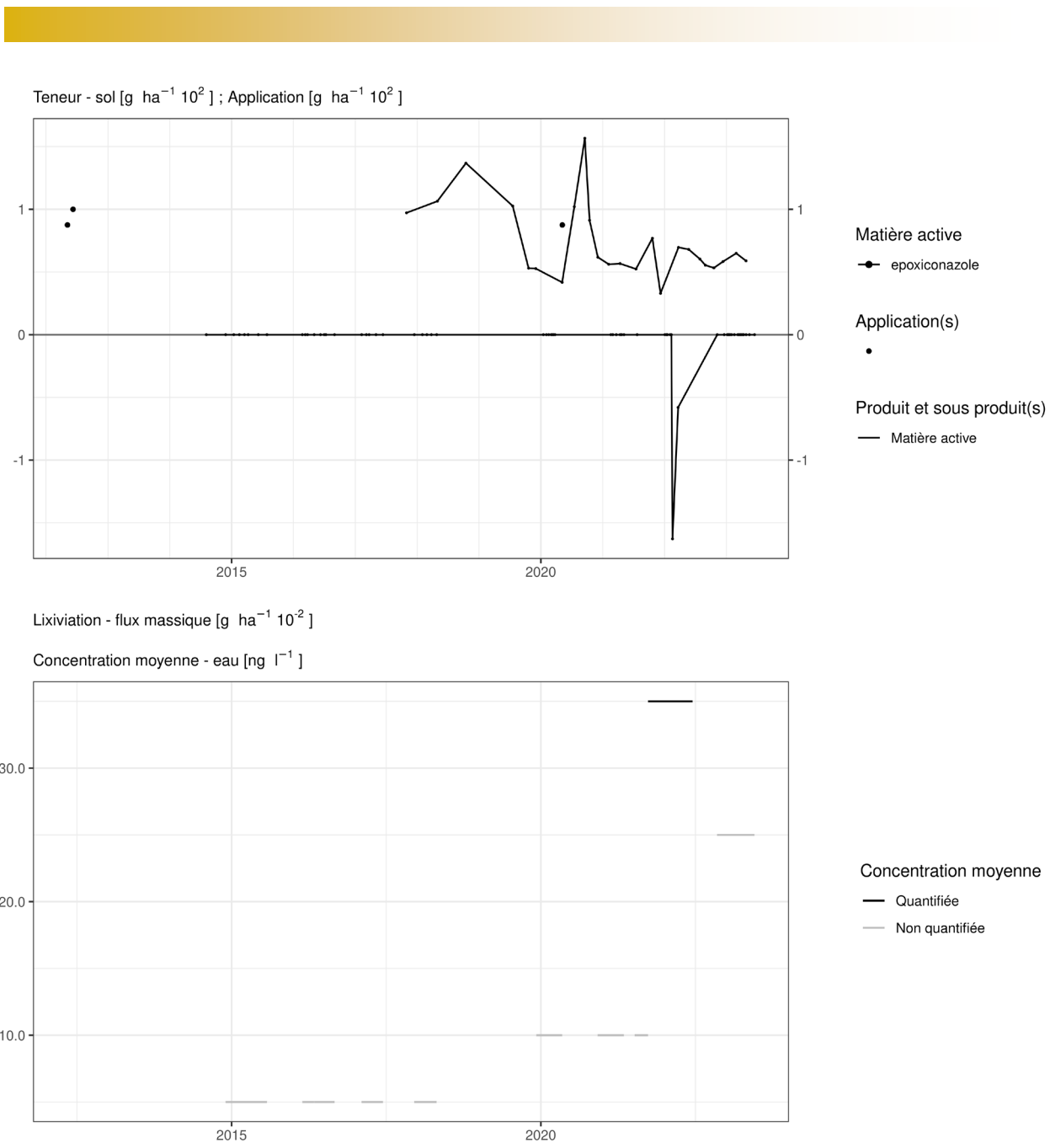
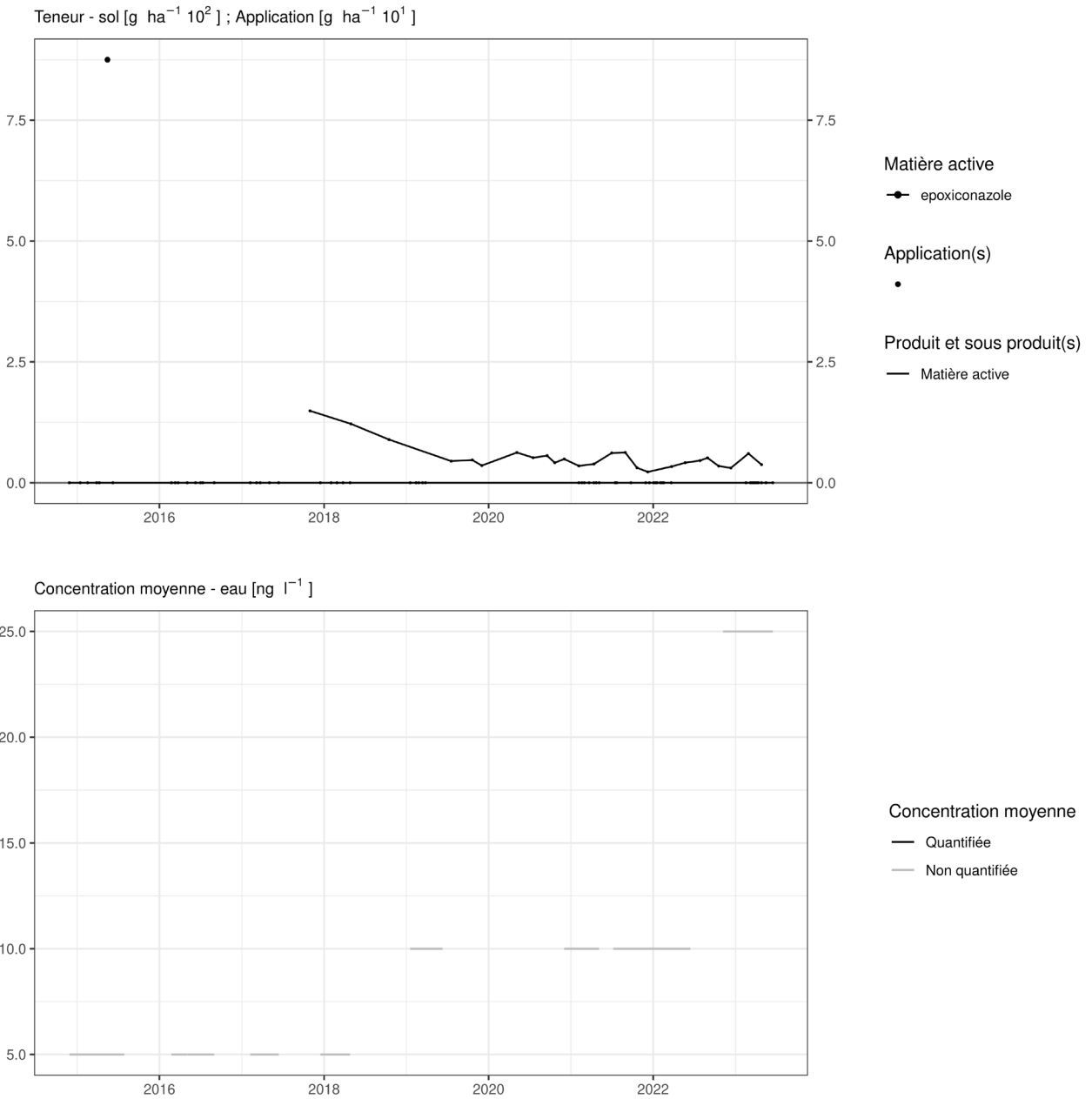


Figure 80. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Haute Bova.

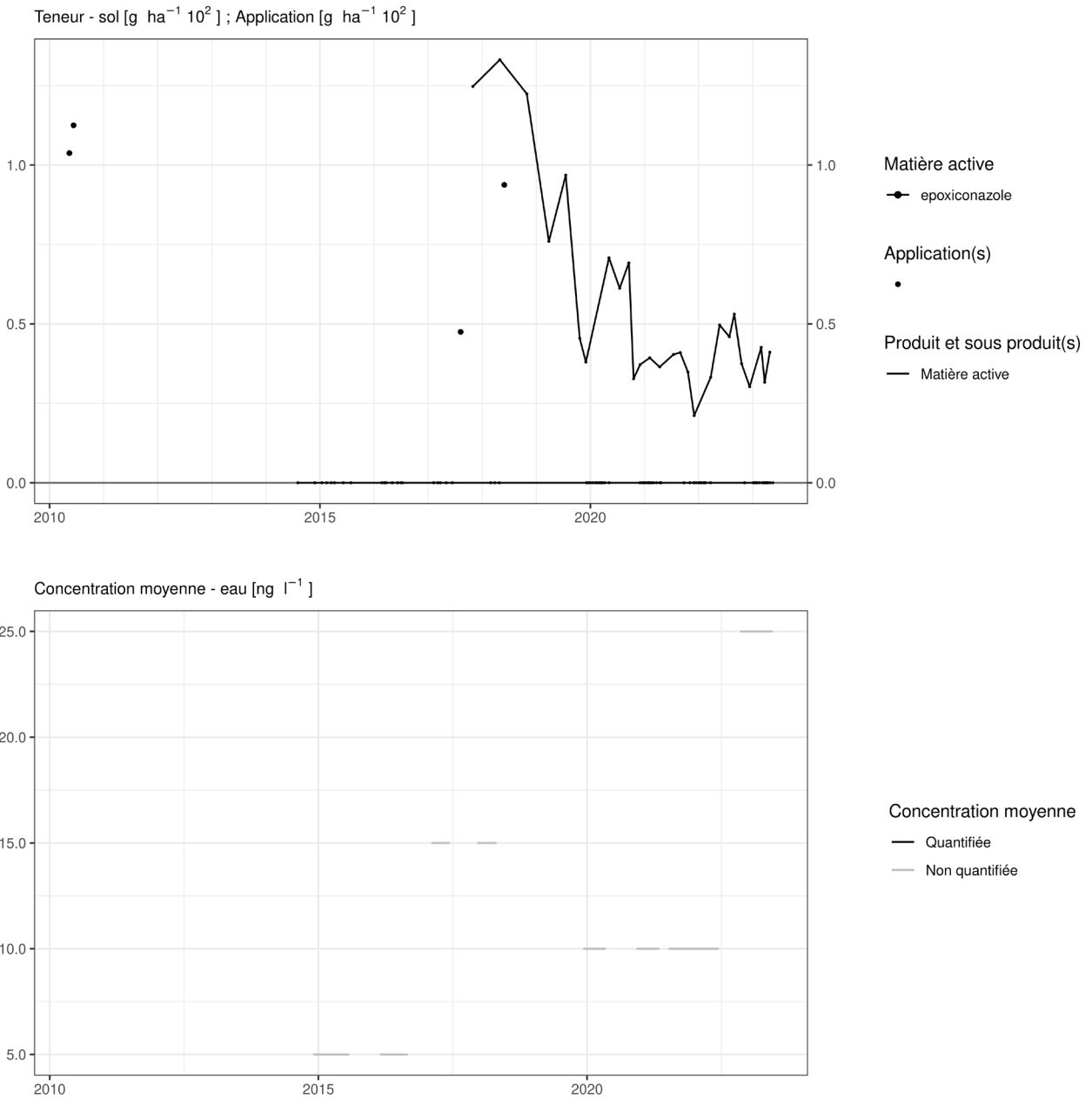




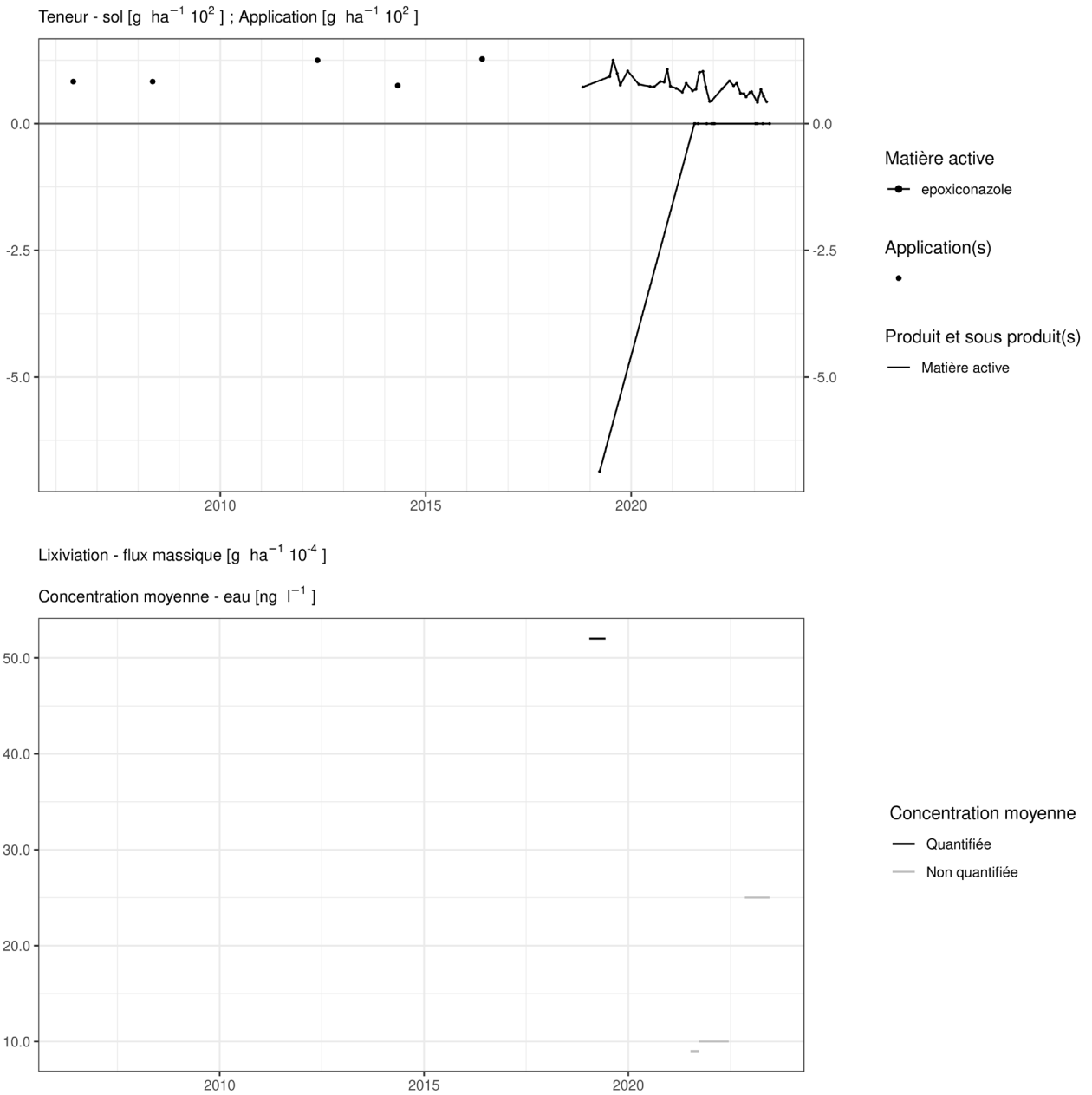
**Figure 81. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Chemin de fer.**



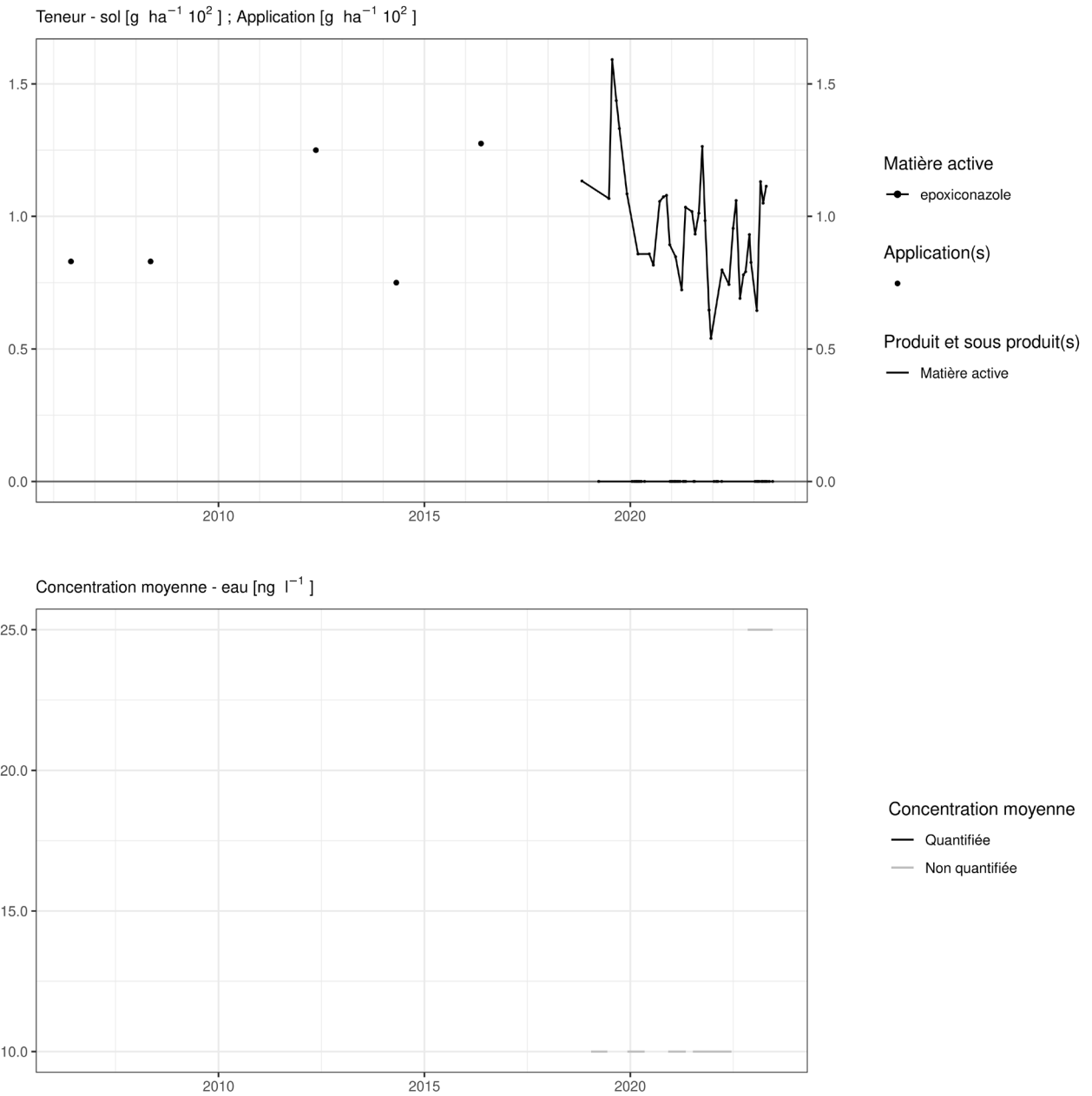
**Figure 82. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Bovenistier.**



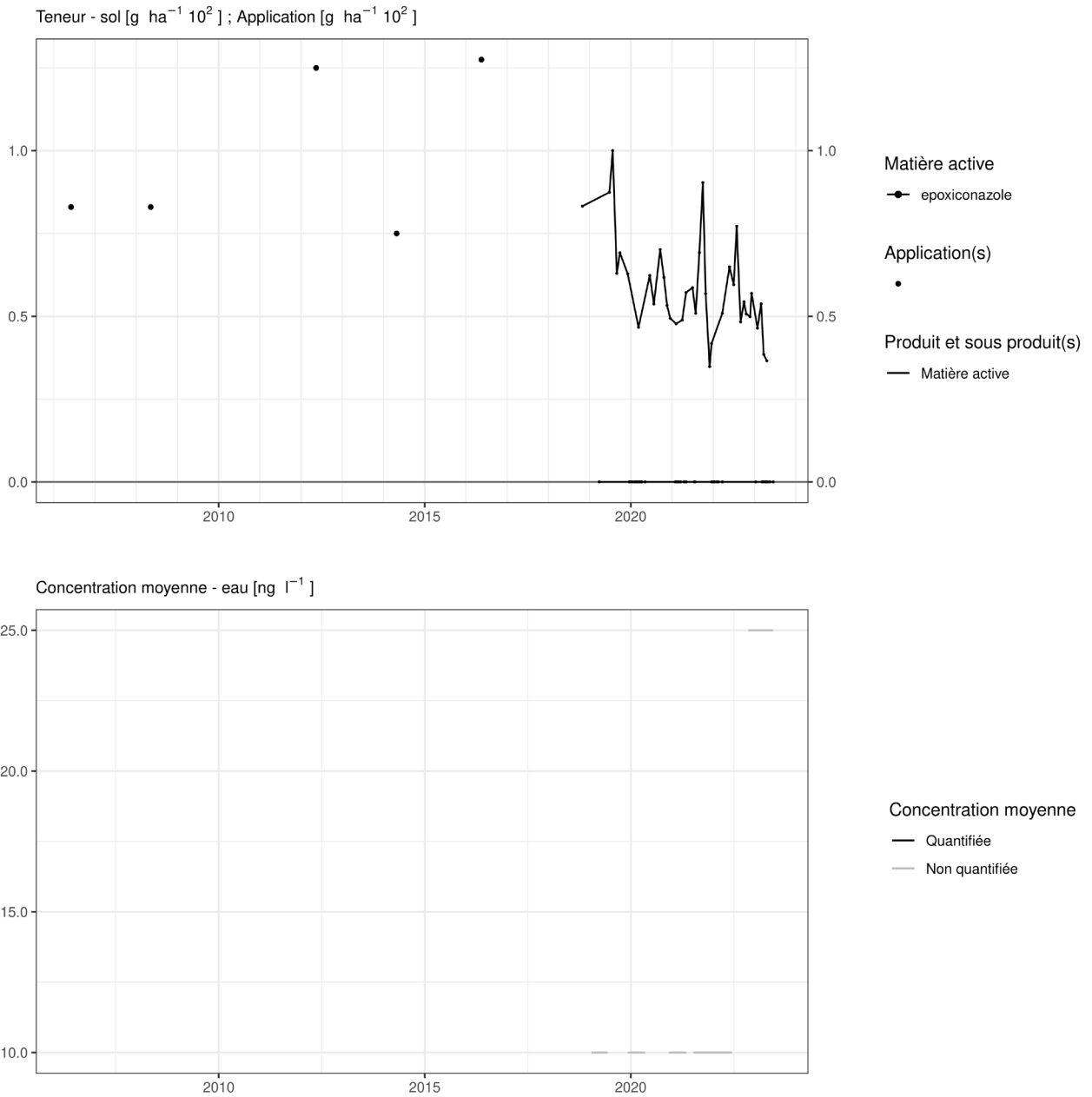
**Figure 83. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle Sole 4.**



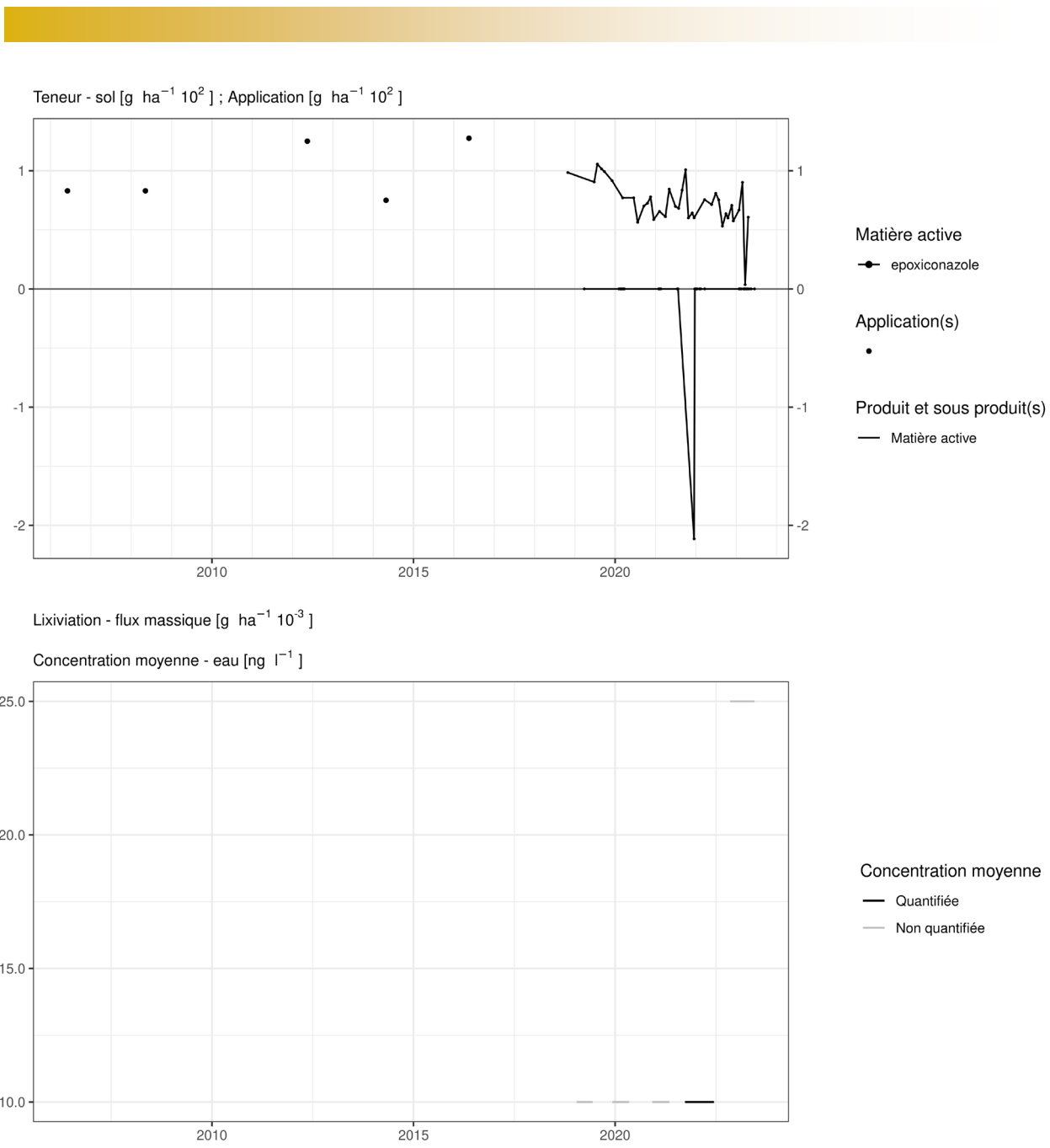
**Figure 84. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR4.**



**Figure 85. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR8.**



**Figure 86. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR12.**



**Figure 87. Applications et suivi de la teneur en epoxiconazole dans la parcelle SR16.**

## 4.16. Ethofumesate

L'ethofumesate est un herbicide essentiellement utilisé sur culture de betterave dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### SOL

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 88 à 95) sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, les applications réalisées au printemps 2022 engendrent une concentration dans le sol équivalente à la quantité apportée ;
- sur la parcelle Chemin de fer, le traitement (200 g/ha) réalisé au printemps 2022 laisse une concentration dans le sol légèrement supérieure à 100 g/ha ;
- sur la parcelle Bovenistier, quatre apports totalisant un peu moins de 500 g/ha au printemps 2019 conduisent, fin d'été 2019 à une concentration dans le sol d'un peu plus de 60 g/ha (en sachant que la concentration mesurée en automne 2018 était de 100 g/ha);
- sur la parcelle Sole 4, un apport de 400 g/ha réalisé début aout 2019 n'engendre pas d'augmentation de concentration quelques semaines après cet apport : la concentration mesurée en juillet est équivalente à celle mesurée en septembre (environ 25 g/ha) ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, trois apports totalisant un peu plus de 450 g/ha ont été réalisés au printemps 2021. La concentration dans le sol a atteint une quinzaine de grammes par hectare.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport de 400 g/ha au printemps 2018 laisse une dizaine de grammes par hectare de résidu à l'automne. Le constat est identique en 2022 ;
- sur la parcelle Chemin de fer, quatre apports totalisant environ 900 g/ha réalisés au printemps 2018 conduisent à une concentration dans le sol de l'ordre de 55 g/ha en automne de la même année. L'apport de 200 g/ha réalisé au printemps 2022 laisse ;
- sur la parcelle Bovenistier, les apports (un peu moins de 500 g/ha) réalisés au printemps 2019 conduisent à une concentration de l'ordre de 10 g/ha fin d'automne de la même année ;
- sur la parcelle Sole 4, l'apport réalisé en été 2019 (40 g/ha) conduit à une concentration d'une dizaine de grammes par hectare fin d'automne de la même année ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, les traitements réalisés au printemps 2021 ont laissé une concentration de moins de 10 g/ha à l'automne de la même année.

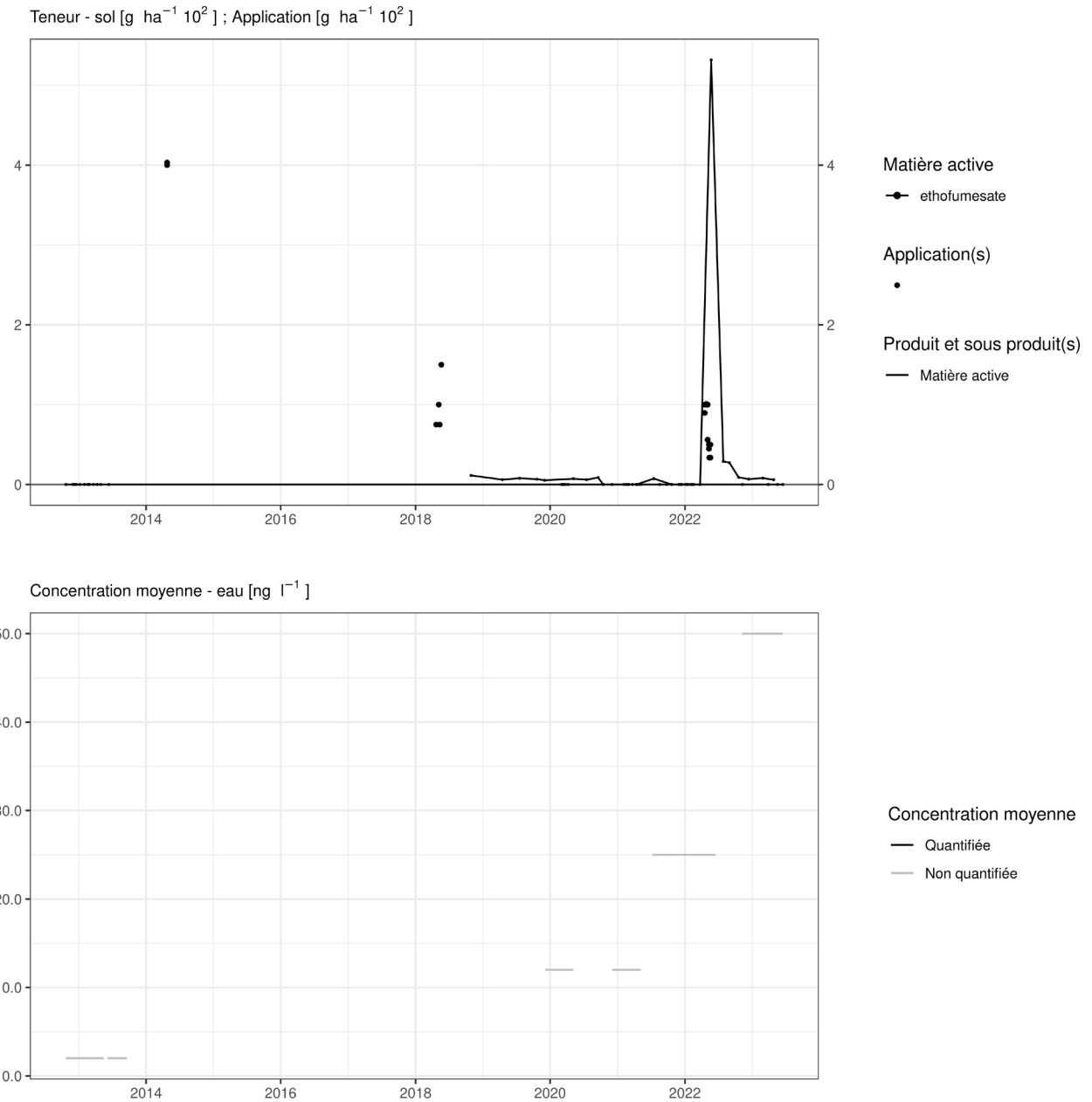
A plus long terme (environ quatre ans après l'apport), la concentration résiduelle dans le sol n'excède pas la dizaine de grammes par hectare (Haute Bova, Bovenistier, Chemin de fer, Bovenistier). Seule la parcelle Sole 4 montre une persistance un peu plus importante de cette matière active.

### EAU

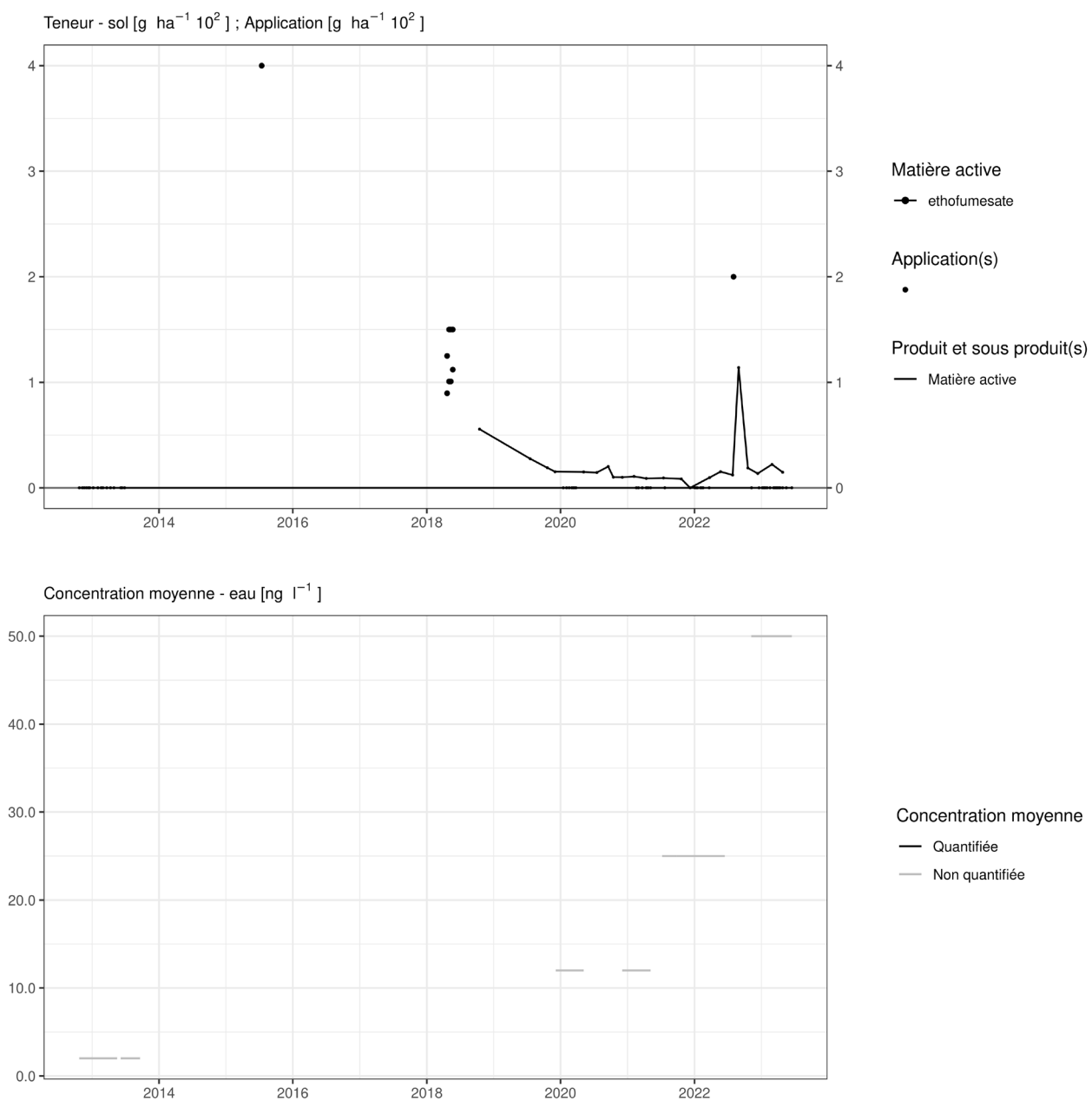
Cette matière active a été quantifiée dans des échantillons d'eau collectés aux exutoires de trois des quatre lysimètres de Sol-Résidus fin du printemps 2021 (reprise d'écoulement suite à une forte pluviométrie) après des apports réalisés quelques semaines auparavant. Les flux observés (de 0,01 à 0,1 g/ha) représentent au maximum 0,2 % de la quantité apportée.

En termes de concentration, cette matière active est régulièrement observée sou la LOQ.





**Figure 88. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Haute Bova.**



**Figure 89. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Chemin de fer.**

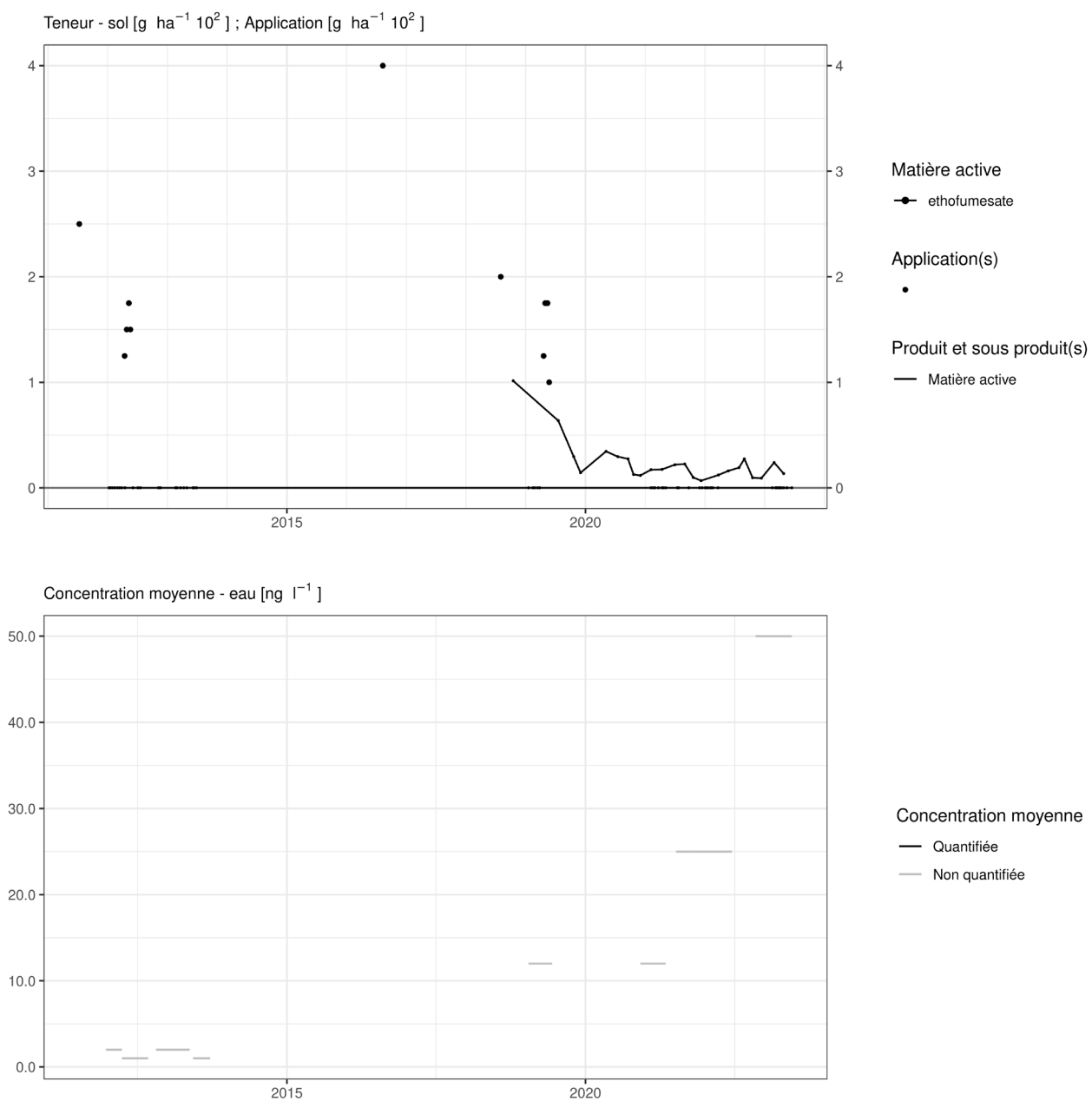


Figure 90. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Bovenistier.

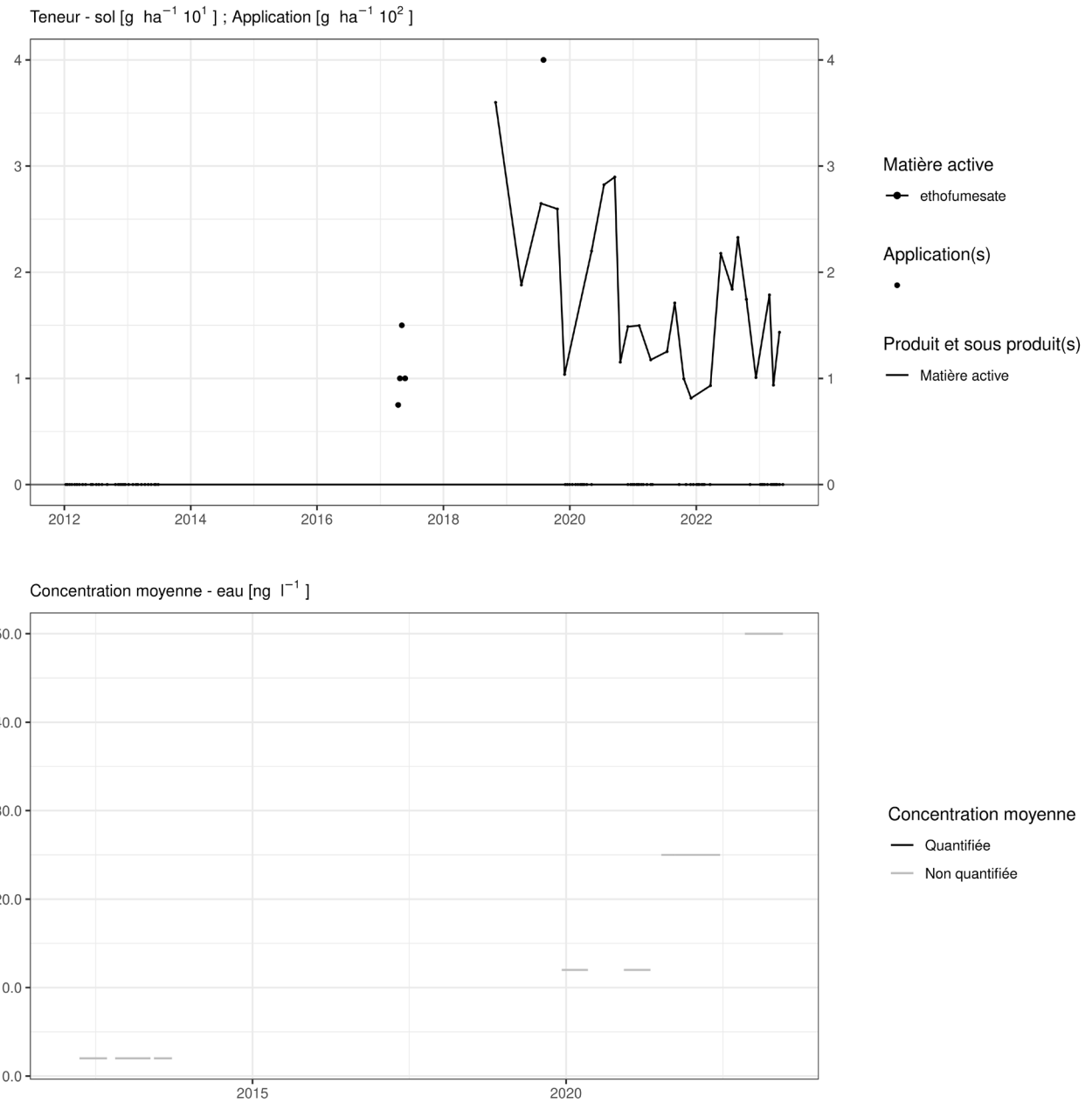


Figure 91. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle Sole 4.

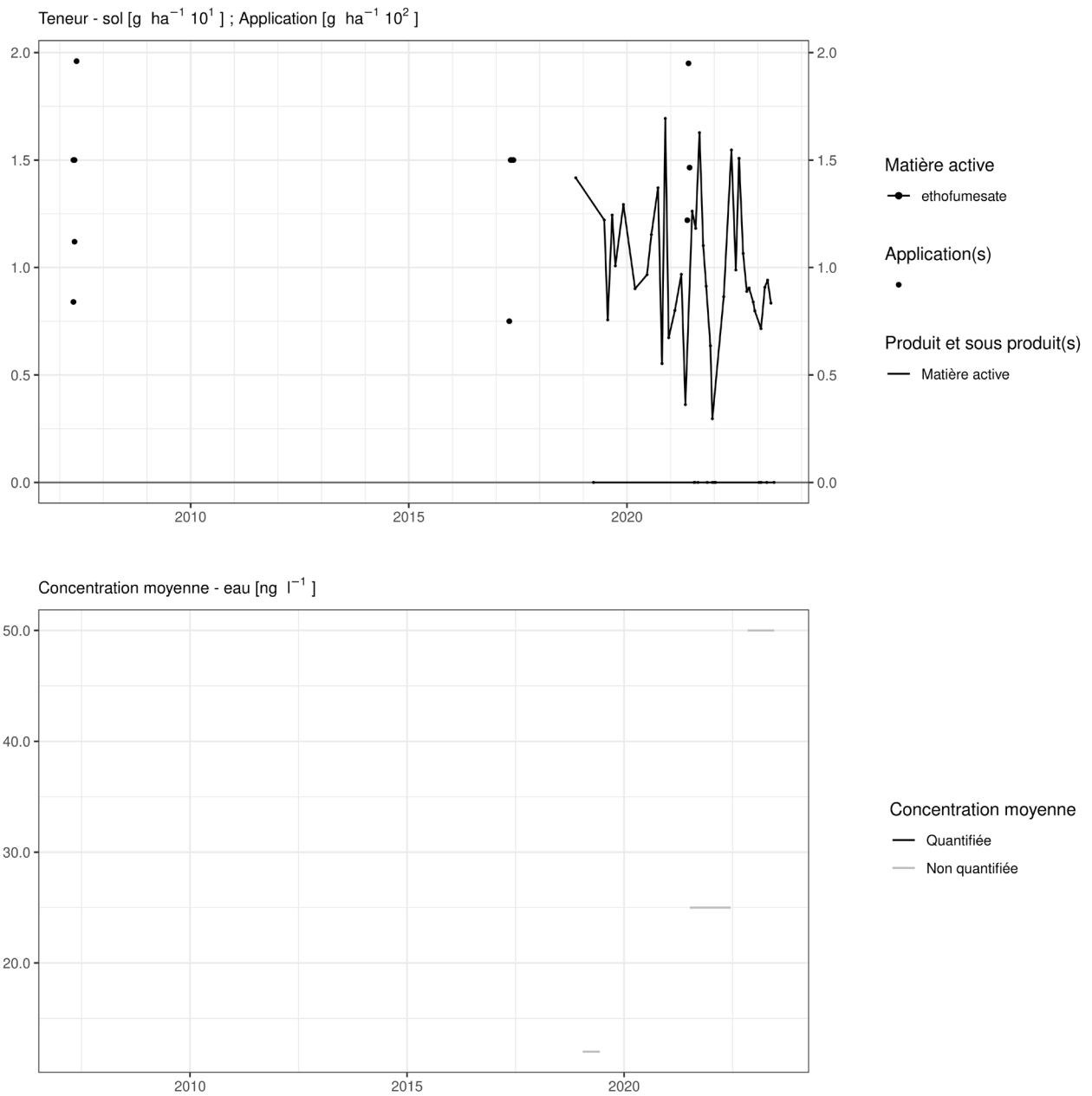
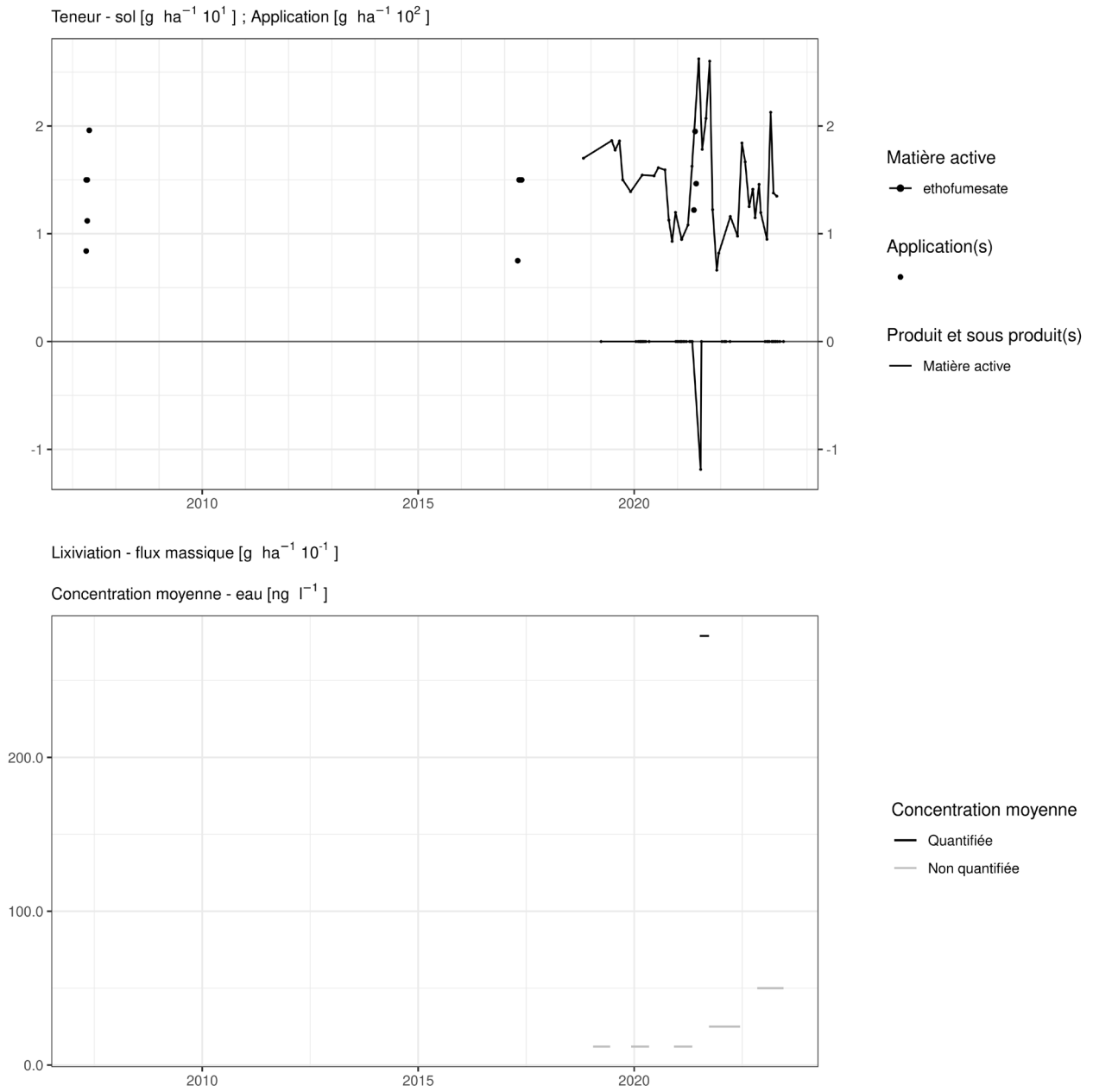
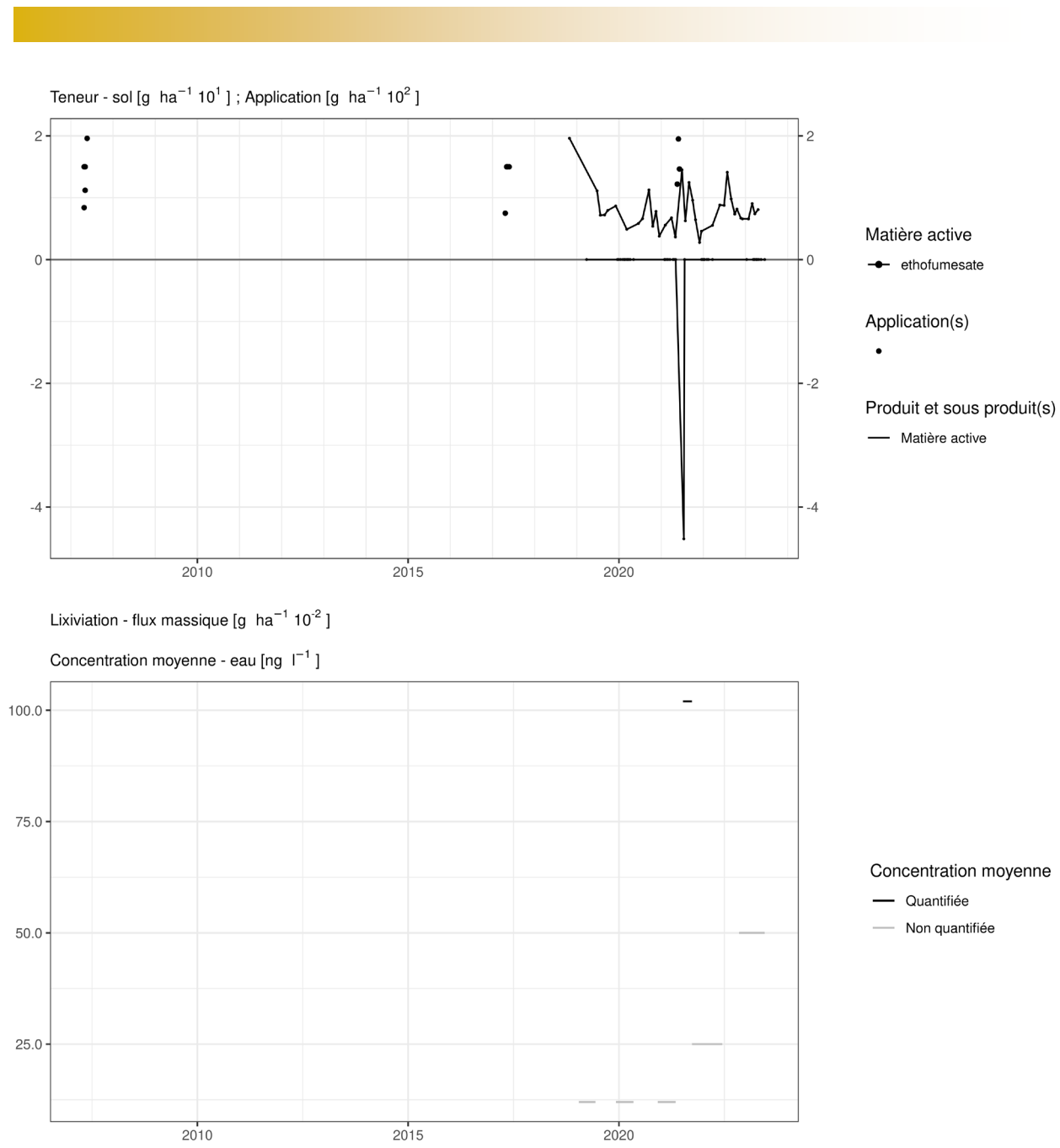


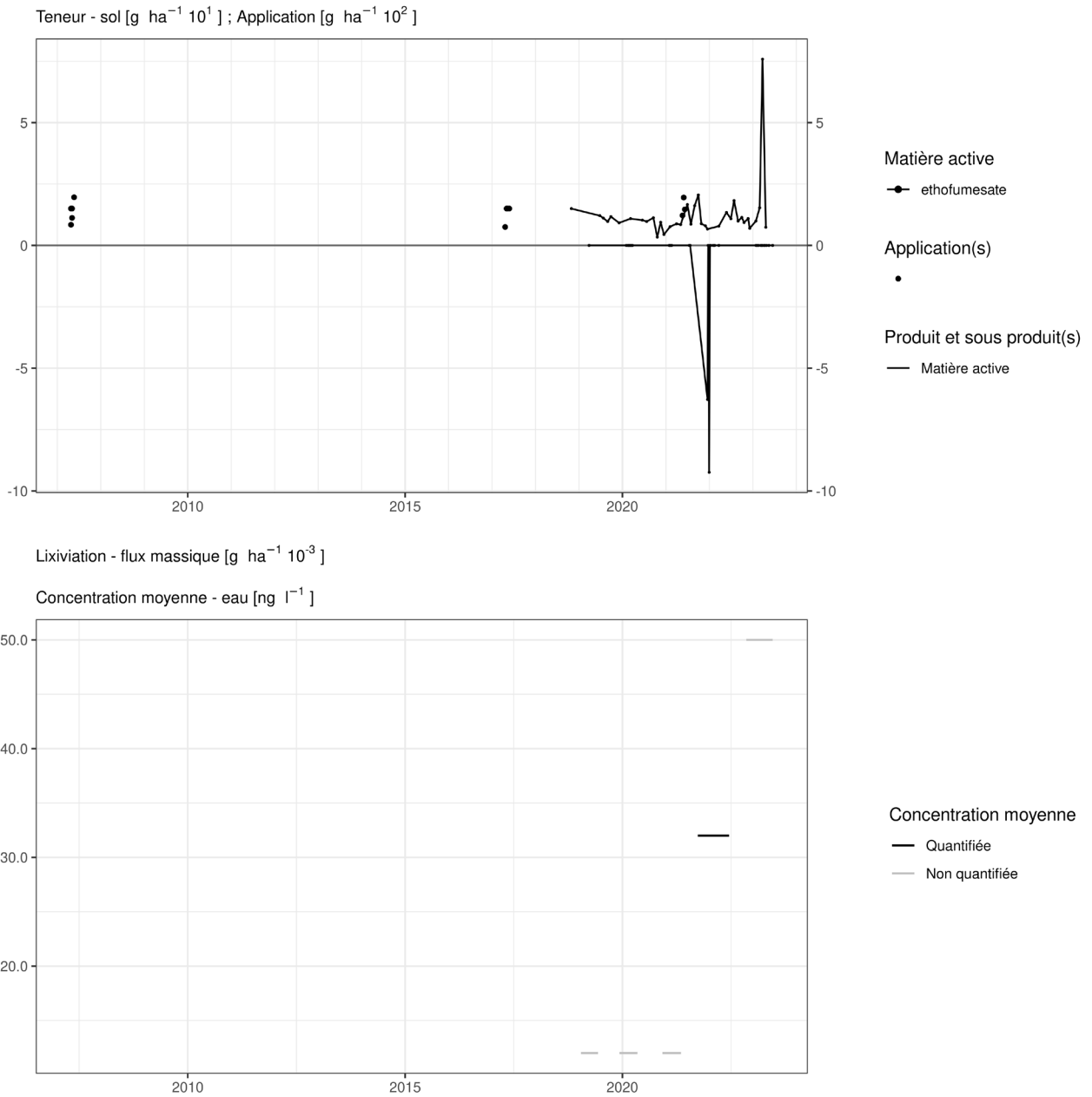
Figure 92. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR4.



**Figure 93. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR8.**



**Figure 94. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR12.**



**Figure 95. Applications et suivi de la teneur en ethofumesate dans la parcelle SR16.**



## 4.17. Flufenacet

Le flufenacet est un herbicide essentiellement utilisé sur culture de pomme de terre dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### SOL

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 96 à 102) sont les suivantes :

- sur la parcelle Sole 4, deux apports totalisant 240 g/ha à l'automne 2020 conduisent, début décembre de la même année, à une concentration dans le sol d'un peu plus de 35 g/ha. Un constat similaire est fait pour l'apport réalisé en automne 2022 ;
- sur la parcelle Chemin de fer, un apport d'un peu plus de 400 g/ha réalisé au printemps 2019 a conduit à une concentration d'un peu plus de 100 g/ha ;
- sur la parcelle Bovenistier, un apport d'un peu plus de 400 g/ha réalisé au printemps 2021 conduit à une concentration dans le sol de près de 90 g/ha ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport d'un peu plus de 300 g/ha a été réalisé au printemps 2019. Deux jours après l'application, la concentration dans le sol est de l'ordre de 200 g/ha. Quelques semaines plus tard, elle est en moyenne de l'ordre d'une centaine de gramme par hectare.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Sole 4, en fin d'hiver qui suit un apport d'automne, la matière n'est plus détectée ;
- sur la parcelle Chemin de fer, l'apport de printemps (un peu plus de 400 g/ha) est visible dans le sol à hauteur d'une dizaine de gramme par hectare ;
- sur la parcelle Bovenistier, l'apport d'un peu plus de 400 g/ha réalisé au printemps 2021 conduit à une concentration de l'ordre de 10 g/ha fin d'automne de la même année ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, le traitement (un peu plus de 300 g/ha) réalisé au printemps 2019 a laissé une concentration de moins de 10 g/ha à l'automne de la même année.

A plus long terme (environ trois ans après l'apport), la matière active n'est plus décelée dans le sol (Chemin de fer 2011 et 2019, Sol-Résidus 2015 et 2019). Seule la parcelle Bovenistier montre encore une faible concentration dans le sol deux ans après l'apport.

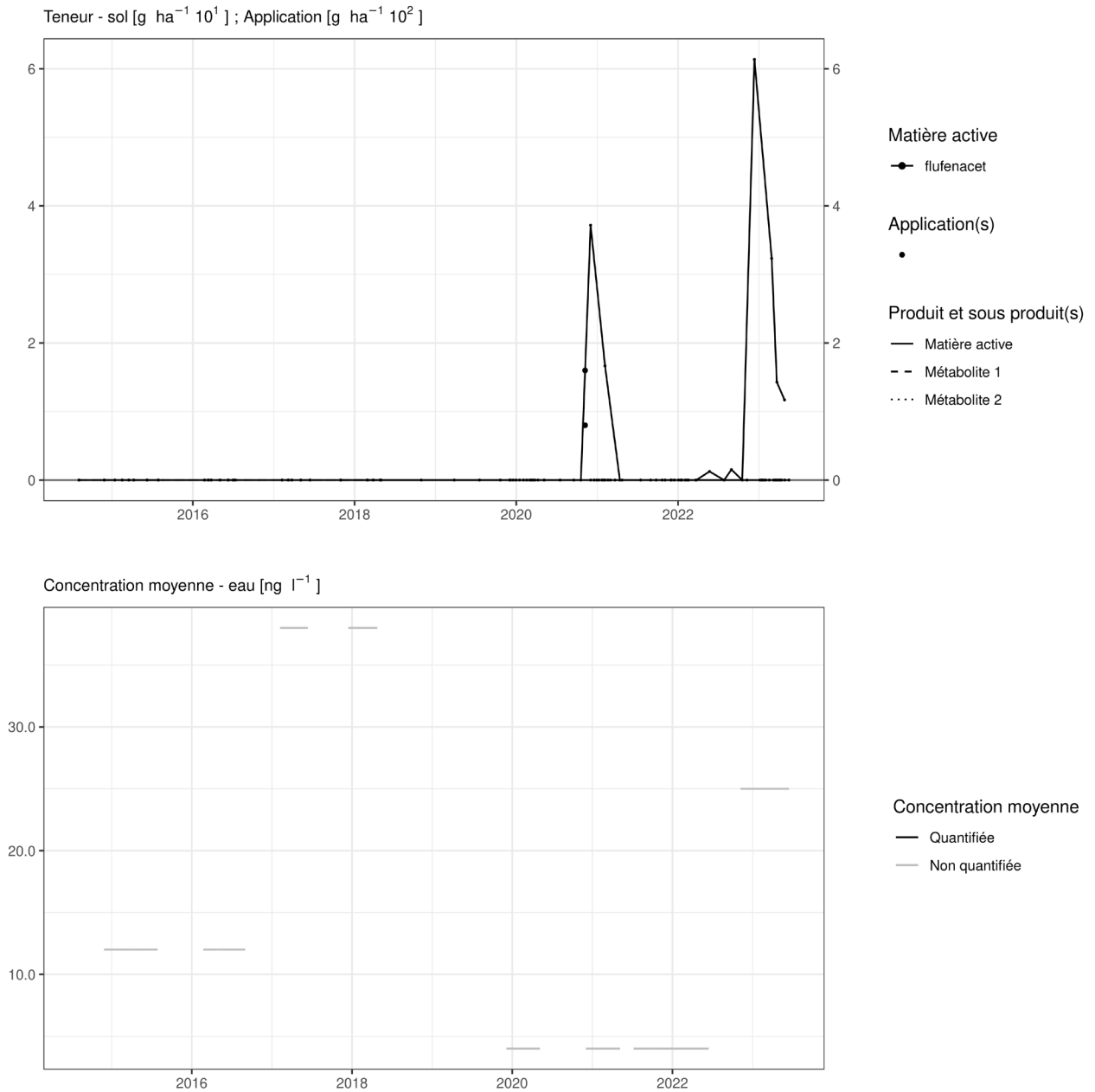
### EAU

Cette matière active a été sporadiquement observée en très petite quantité dans des échantillons d'eau collectés aux exutoires de lysimètres :

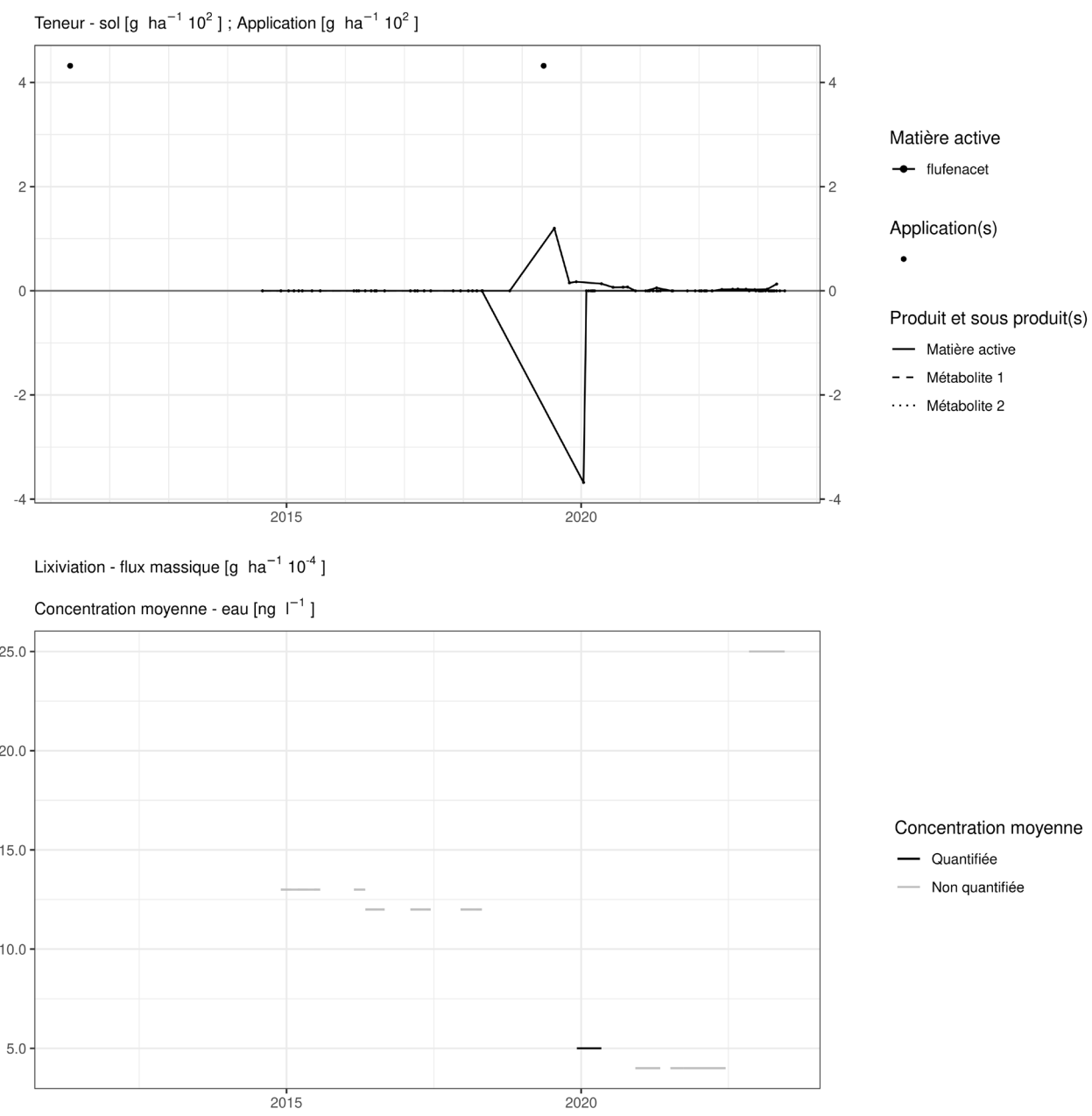
- sur la parcelle Chemin de fer, au cours de l'hiver 2019-2020, un flux de 0,0004 g/ha a été observé suite à l'apport d'un peu plus de 400 g/ha au printemps 2019 ;
- sur la parcelle Bovenistier, un flux d'environ 2 g/ha du métabolite ESA (dosé par l'ISSEP) a été observé au cours de l'hiver 2014-2015 suite à un apport de près de 450 g/ha au printemps 2014 ;
- sur la parcelle Sol-Résidus SR12, un flux de 0,07 g/ha est observé fin d'hiver 2020-2021 suite à un apport d'un peu plus de 300 g/ha en 2019.

Ces observations illustrent la faiblesse des flux de cette matière active. Une attention particulière devrait cependant être portée sur le métabolite ESA.

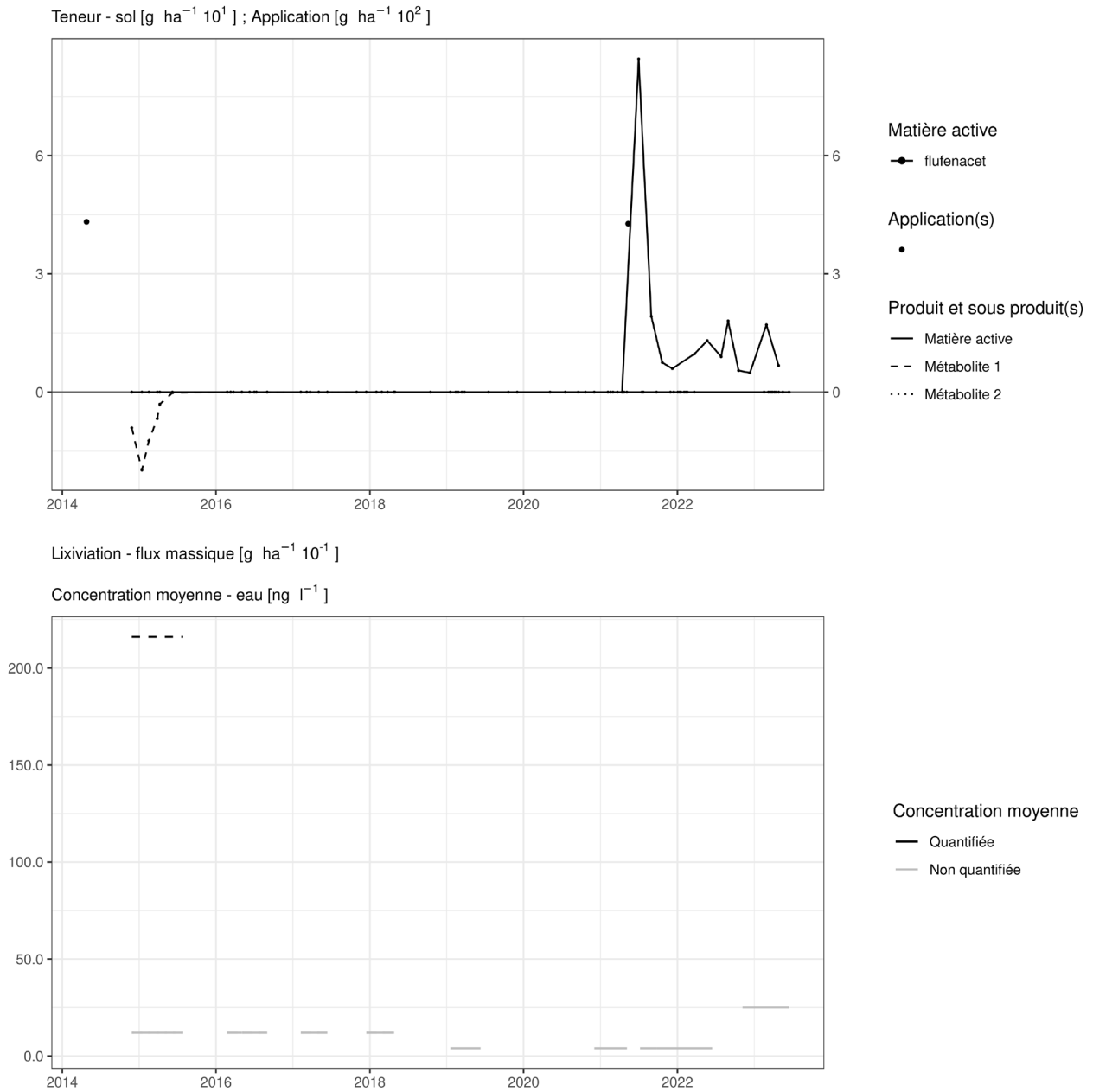
En termes de concentration, à l'exception de trois quantifications, la matière active n'a été observée qu'en concentration inférieure à la LOQ.



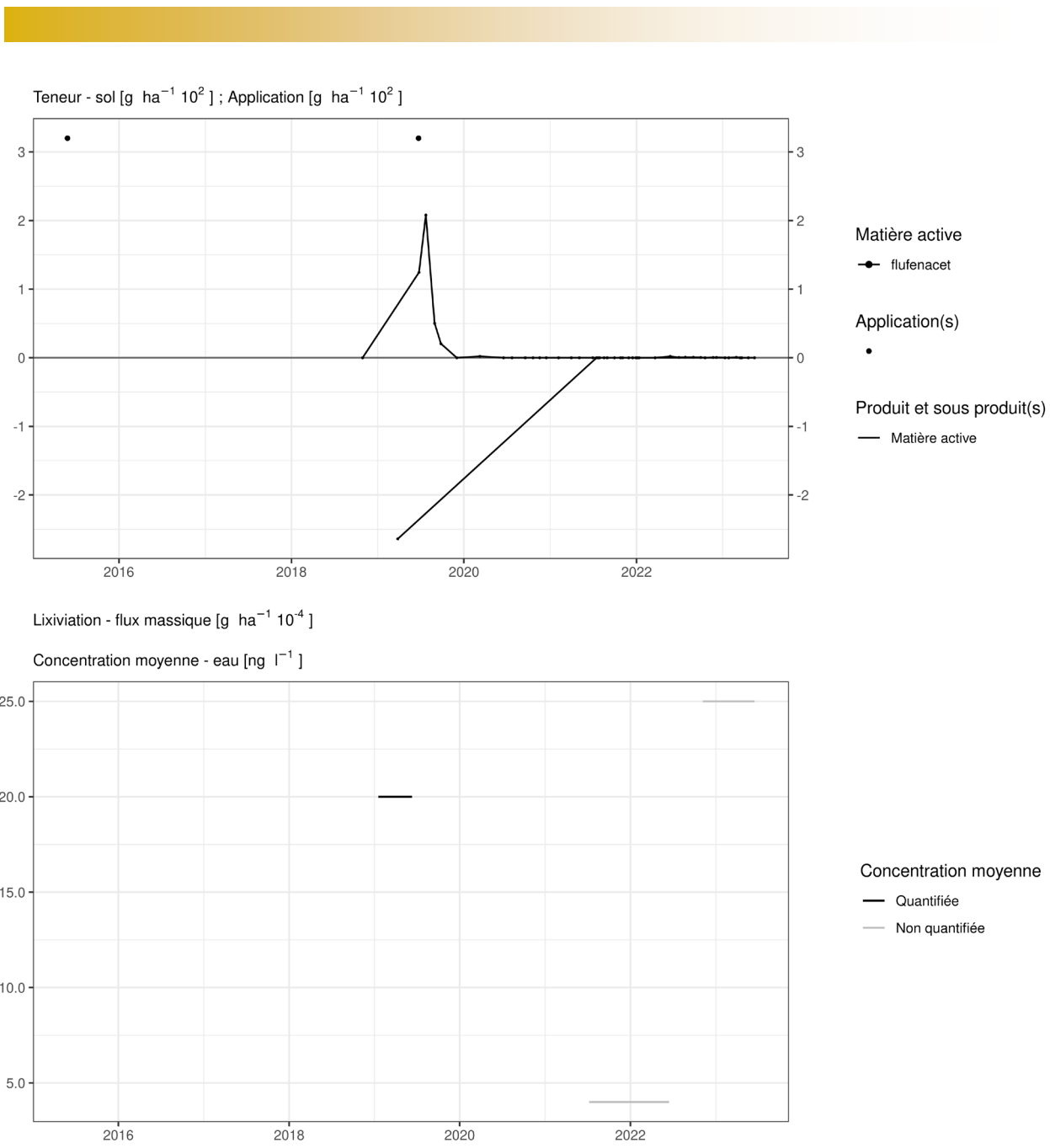
**Figure 96. Applications et suivi de la teneur en flufenacet, en flufenacet ESA (métabolite 1) et en flufenacet OA (métabolite 2) dans la parcelle Sole 4.**



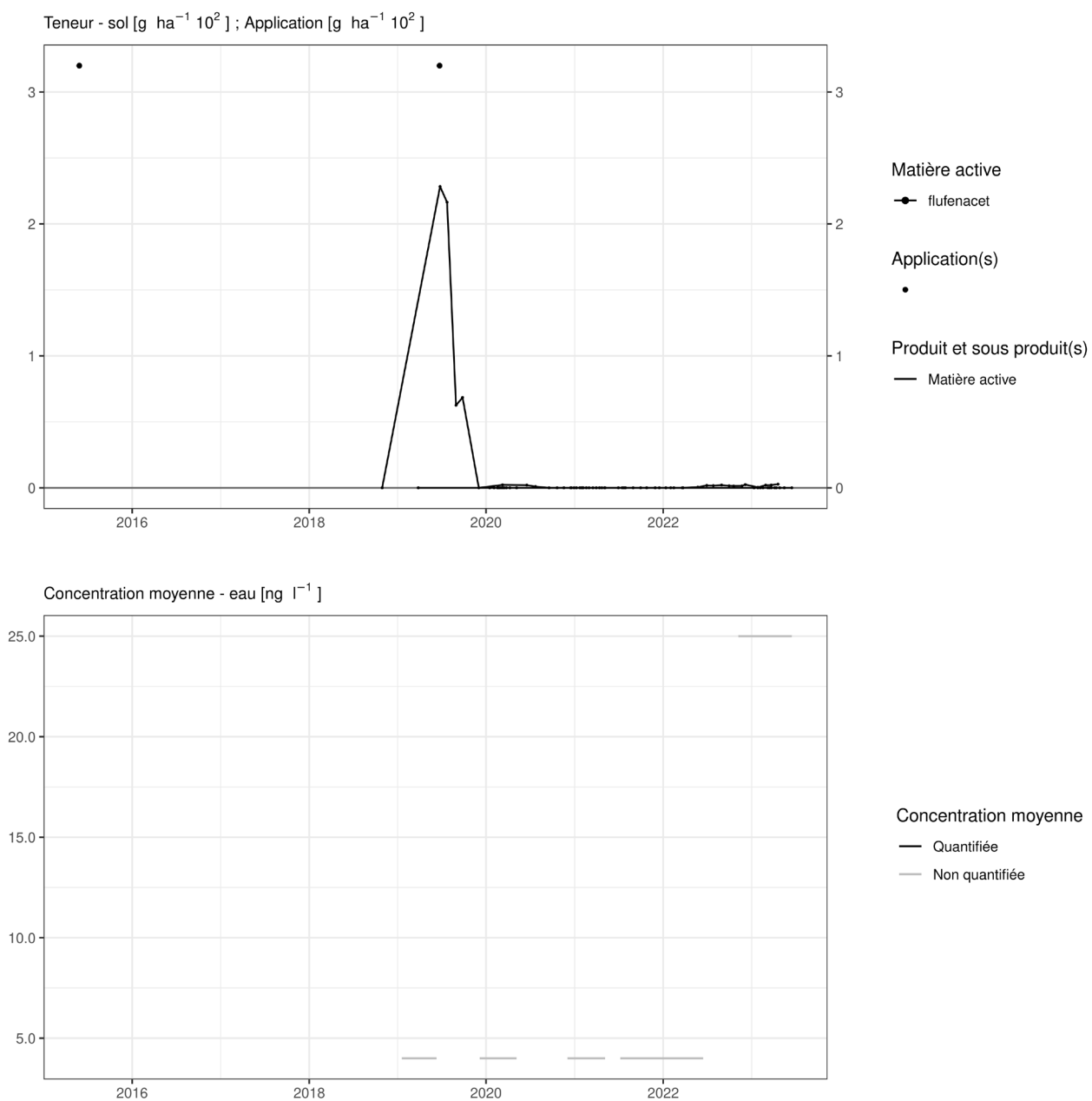
**Figure 97. Applications et suivi de la teneur en flufenacet, en flufenacet ESA (métabolite 1) et en flufenacet OA (métabolite 2) dans la parcelle Chemin de fer.**



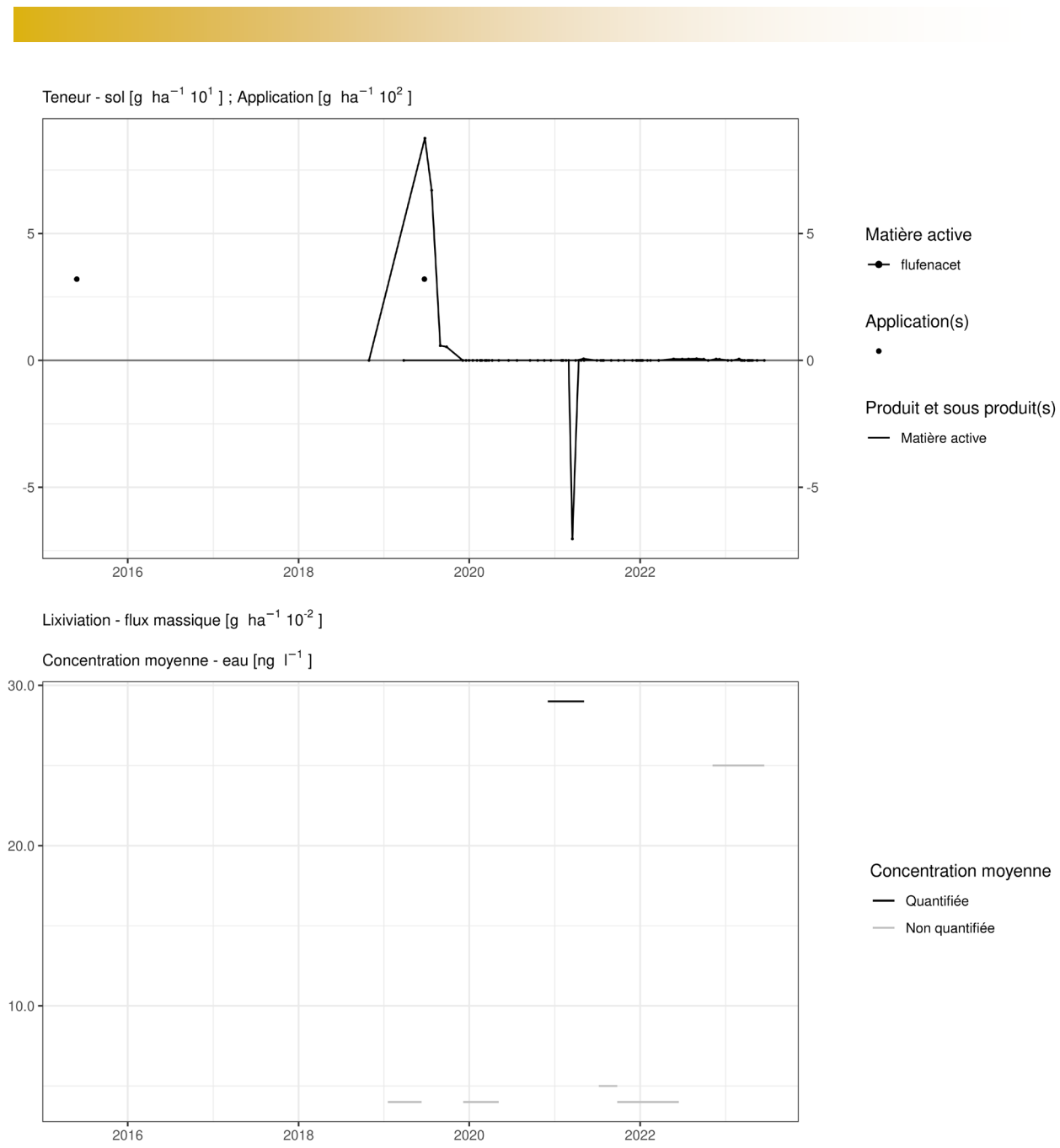
**Figure 98. Applications et suivi de la teneur en flufenacet, en flufenacet ESA (métabolite 1) et en flufenacet OA (métabolite 2) dans la parcelle Bovenistier.**



**Figure 99. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR4.**



**Figure 100. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR8.**



**Figure 101. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR12.**

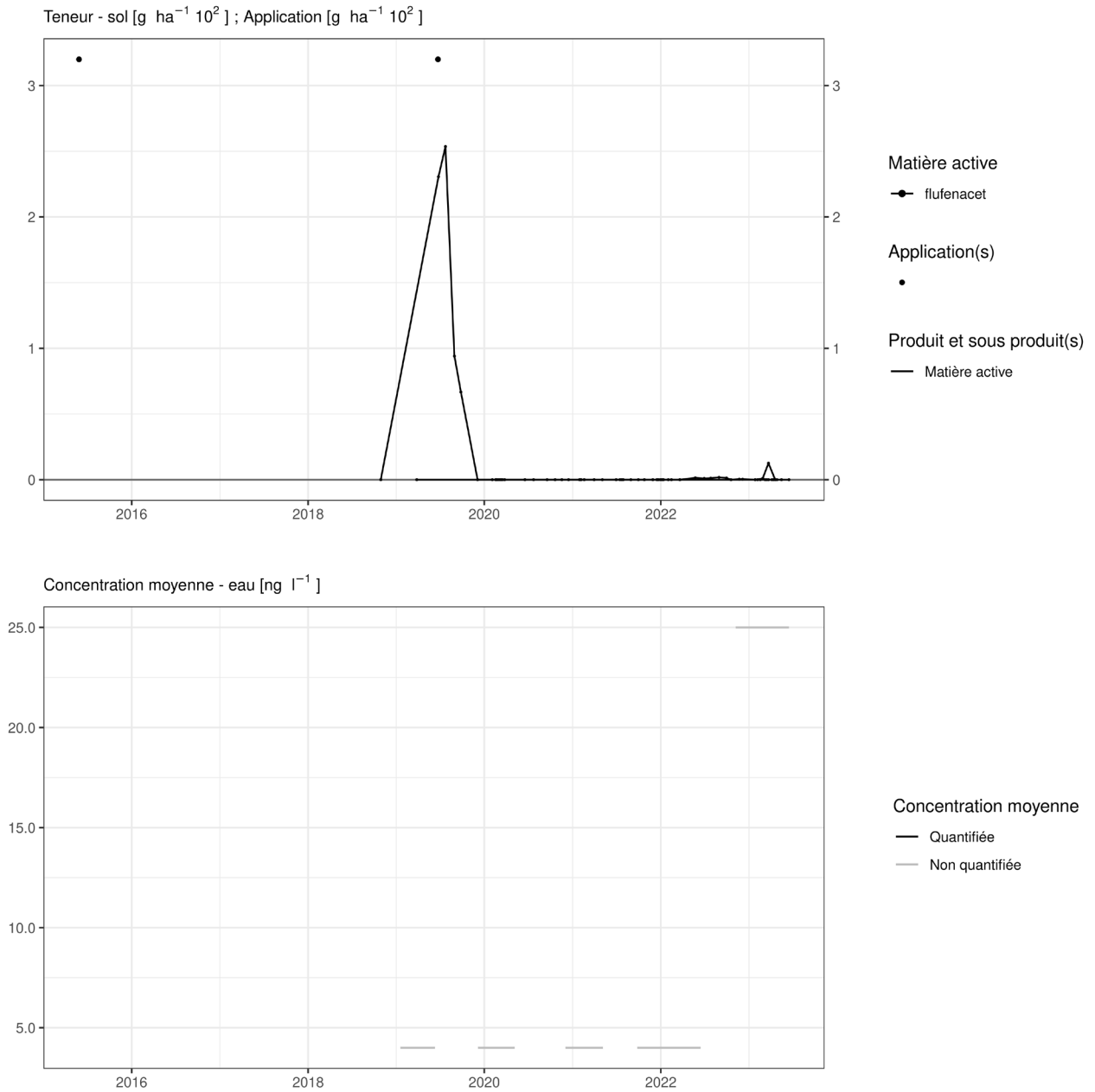


Figure 102. Applications et suivi de la teneur en flufenacet dans la parcelle SR16.



## 4.18. Fluopyram

Le fluopyram est un fongicide SDHI utilisé sur culture de haricot dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations (figure 103 et figure 105) sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, un apport de 150 g/ha au printemps 2022 conduit à une augmentation similaire de la concentration dans le sol ;
- sur la parcelle Sole 4, un apport de 150 g/ha au printemps 2022 conduit à une augmentation quasiment double (inexpliquée) de l'apport ;

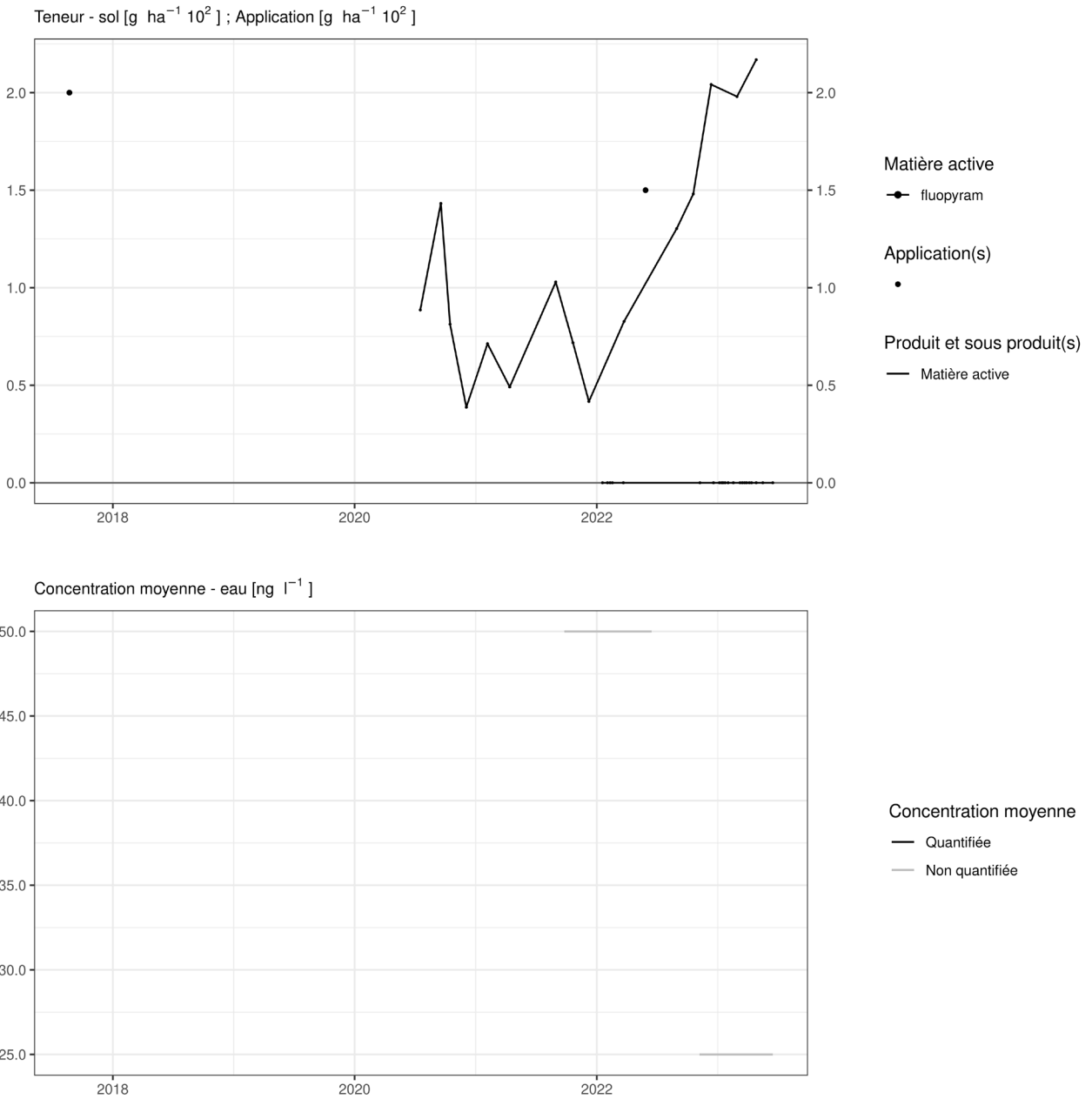
Quelques années (3-4 ans) après un traitement, les observations (figures 103 et 104) sont les suivantes :

- sur la parcelle Chemin de fer, un apport de 200 g/ha réalisé en 2017 conduit en 2020 à une concentration dans le sol dans l'ordre d'une centaine de grammes par hectare et en 2021 à une concentration dans le sol de l'ordre de 75 g/ha ;
- sur la parcelle Bovenistier, un apport de 200 g/ha réalisé en 2018 conduit à une concentration dans le sol de l'ordre de 75 g/ha trois ans après l'application.

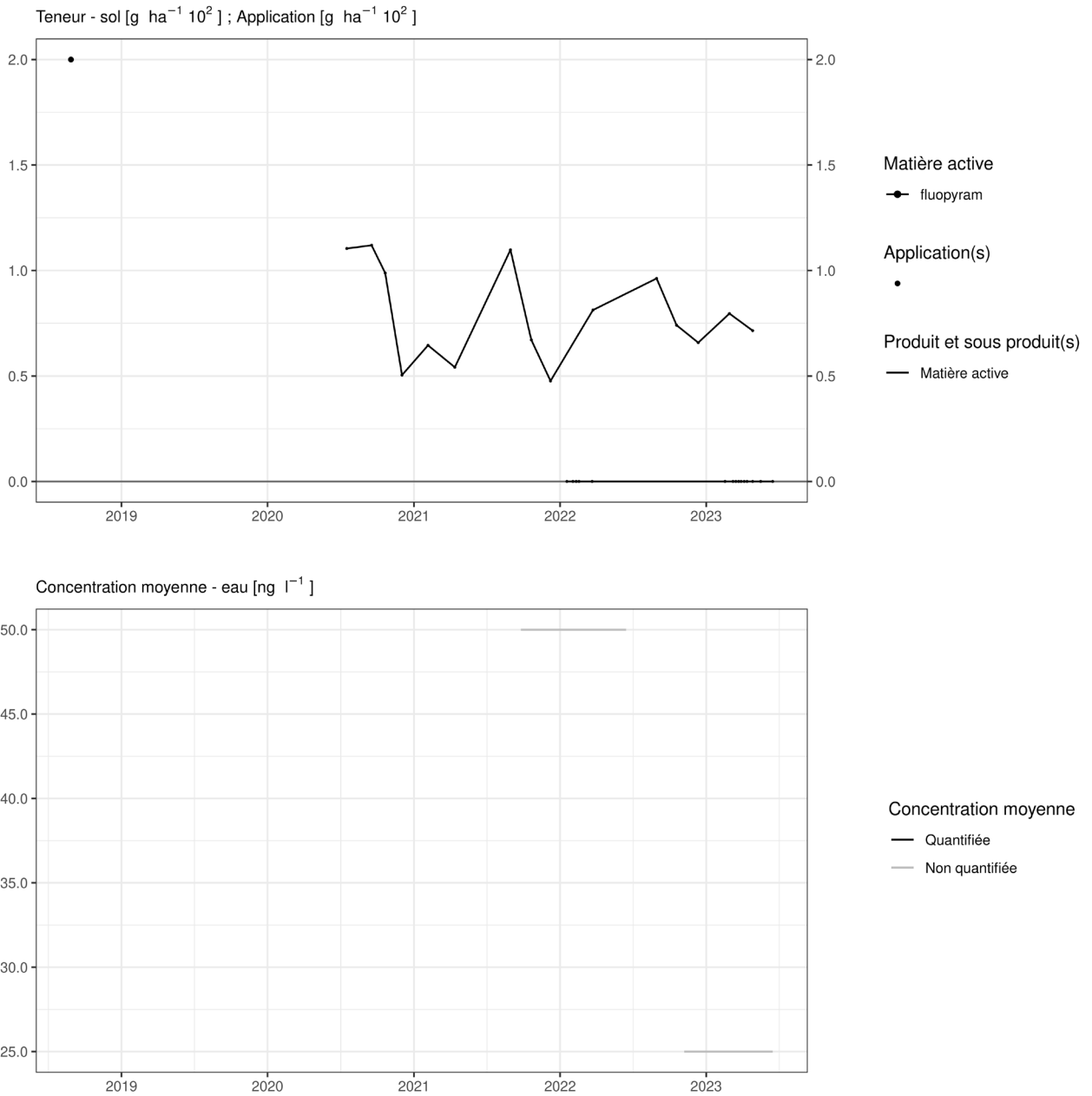
Les résultats d'analyses de sol réalisées sur la parcelle Sole 4 ne sont pas expliqués (une autre SDHI est utilisée par l'agriculteur pour protéger sa culture de froment).

### **EAU**

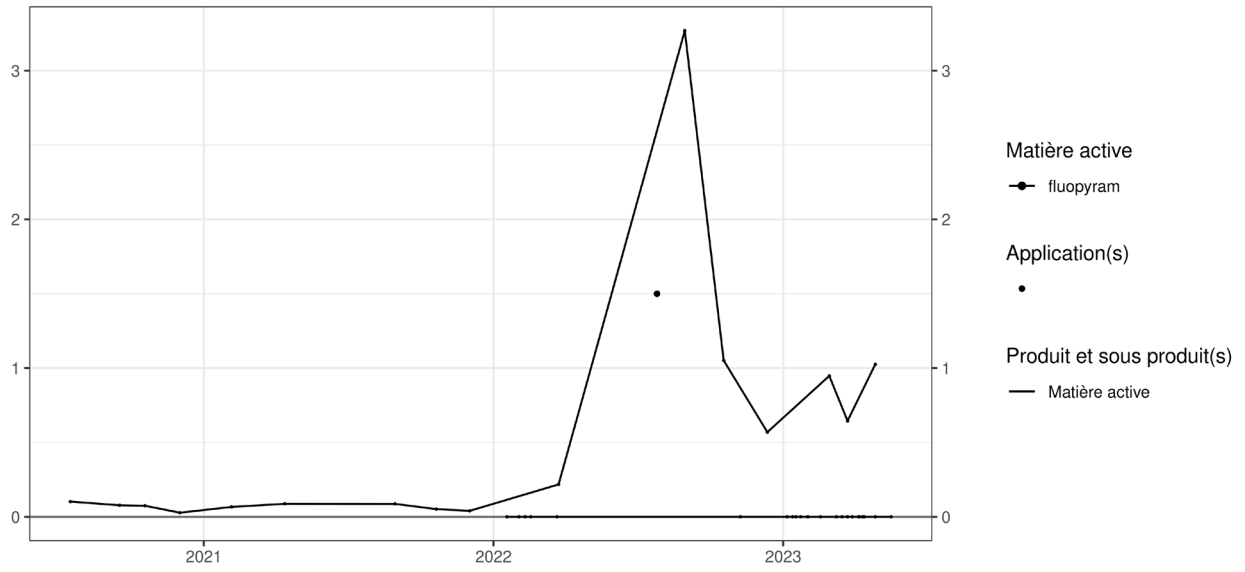
Cette matière active n'a pas été quantifiée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres ; les détections ont toujours été inférieures à la LOQ.



**Figure 103. Applications et suivi de la teneur en fluopyram dans la parcelle Chemin de fer.**



Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

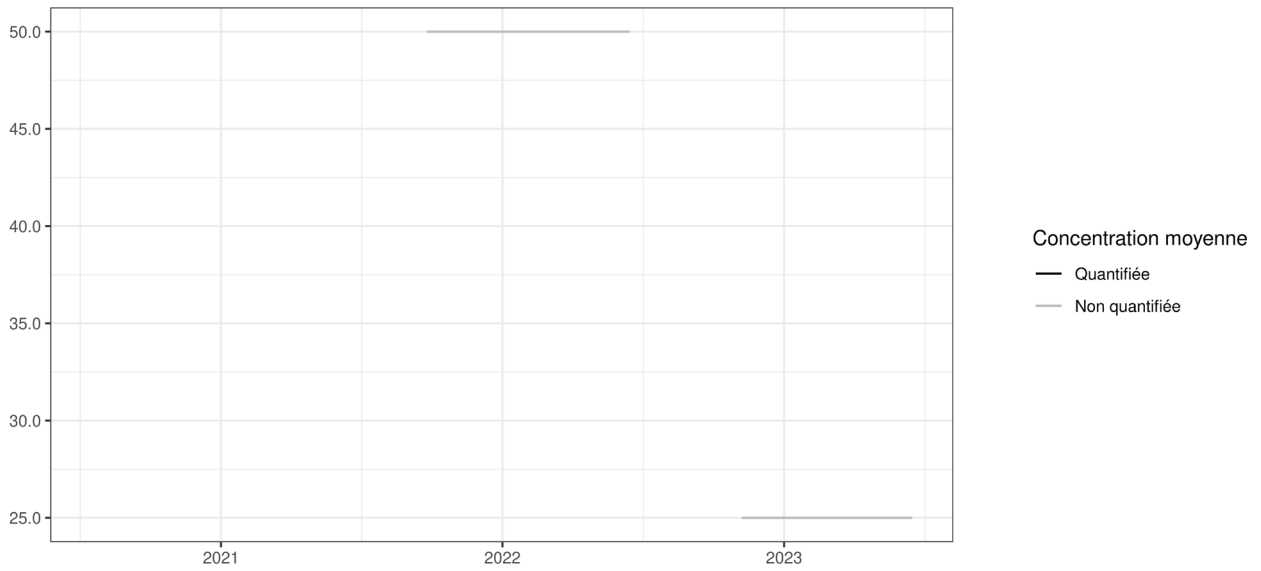


Figure 105. Applications et suivi de la teneur en fluopyram dans la parcelle Sole 4.

## 4.19. Fluxapyroxad

Le fluxapyroxad est un fongicide utilisé sur culture de froment dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Bovenistier (figure 107), un apport de 75 g/ha au printemps 2022 laisse une concentration équivalente dans le sol.

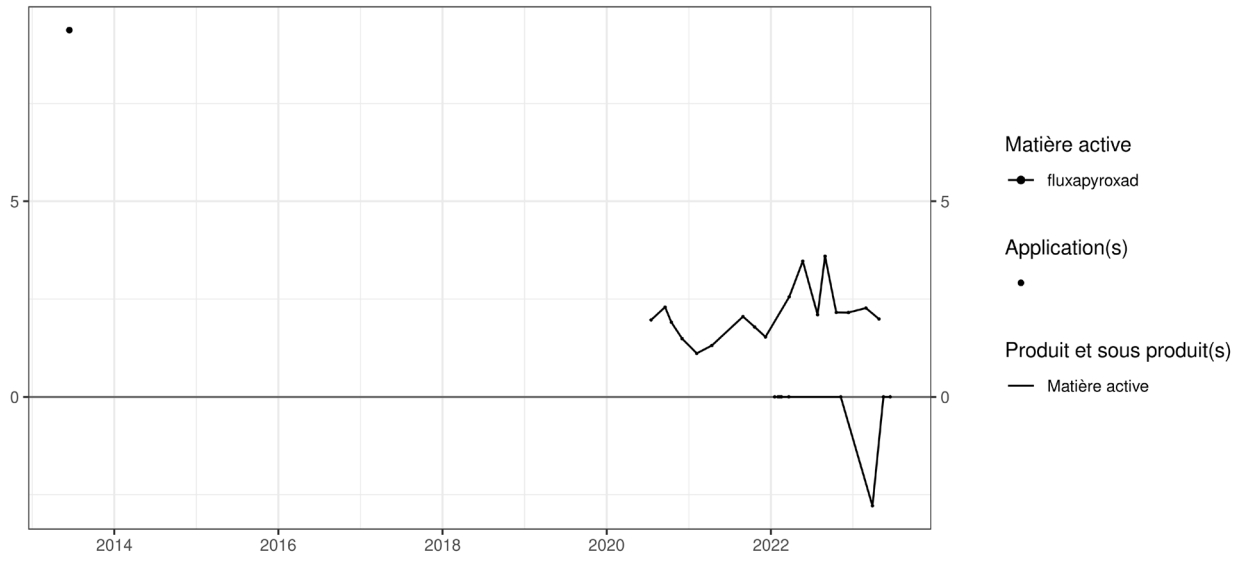
Quelques années après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova (figure 106), l'apport d'environ 90 g/ha réalisé en 2013 laisse, en 2021, une concentration dans le sol de l'ordre d'une vingtaine de grammes par hectare ;
- sur la parcelle Sole 4 (figure 108), deux apports (réalisés en 2017 et 2019) totalisant près de 200 g/ha conduisent en 2021 à une concentration d'environ 60 g/ha.

### **EAU**

Cette matière active a été quantifiée à deux reprises dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres. Les concentrations moyennes de saisons de drainage sont généralement inférieures à la LOQ.

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>]



Lixiviation - flux massique [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>-4</sup>]

Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

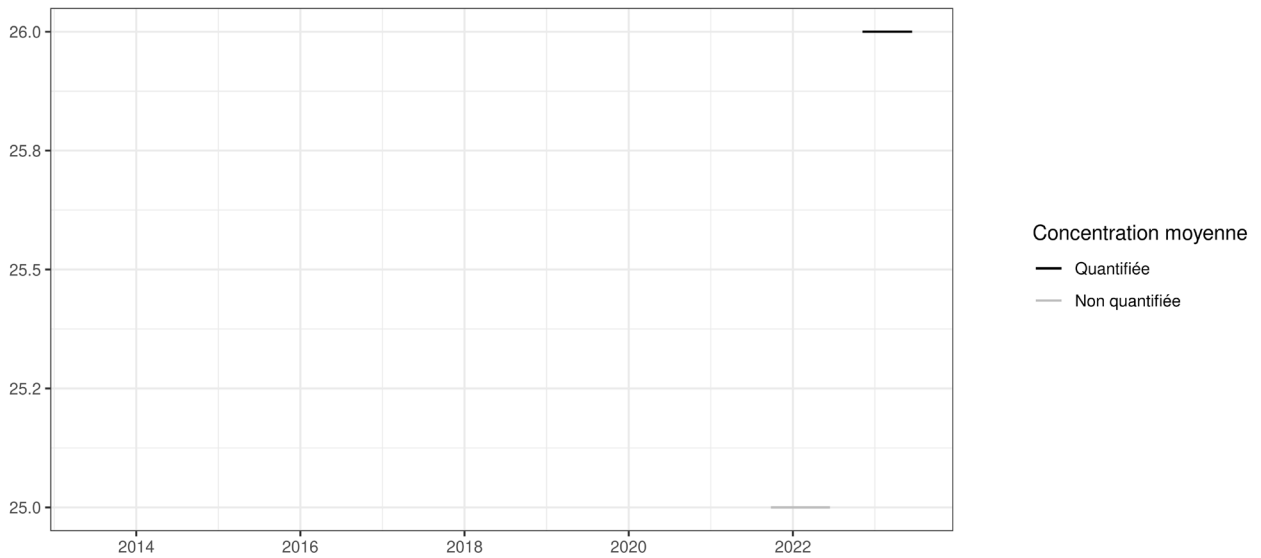
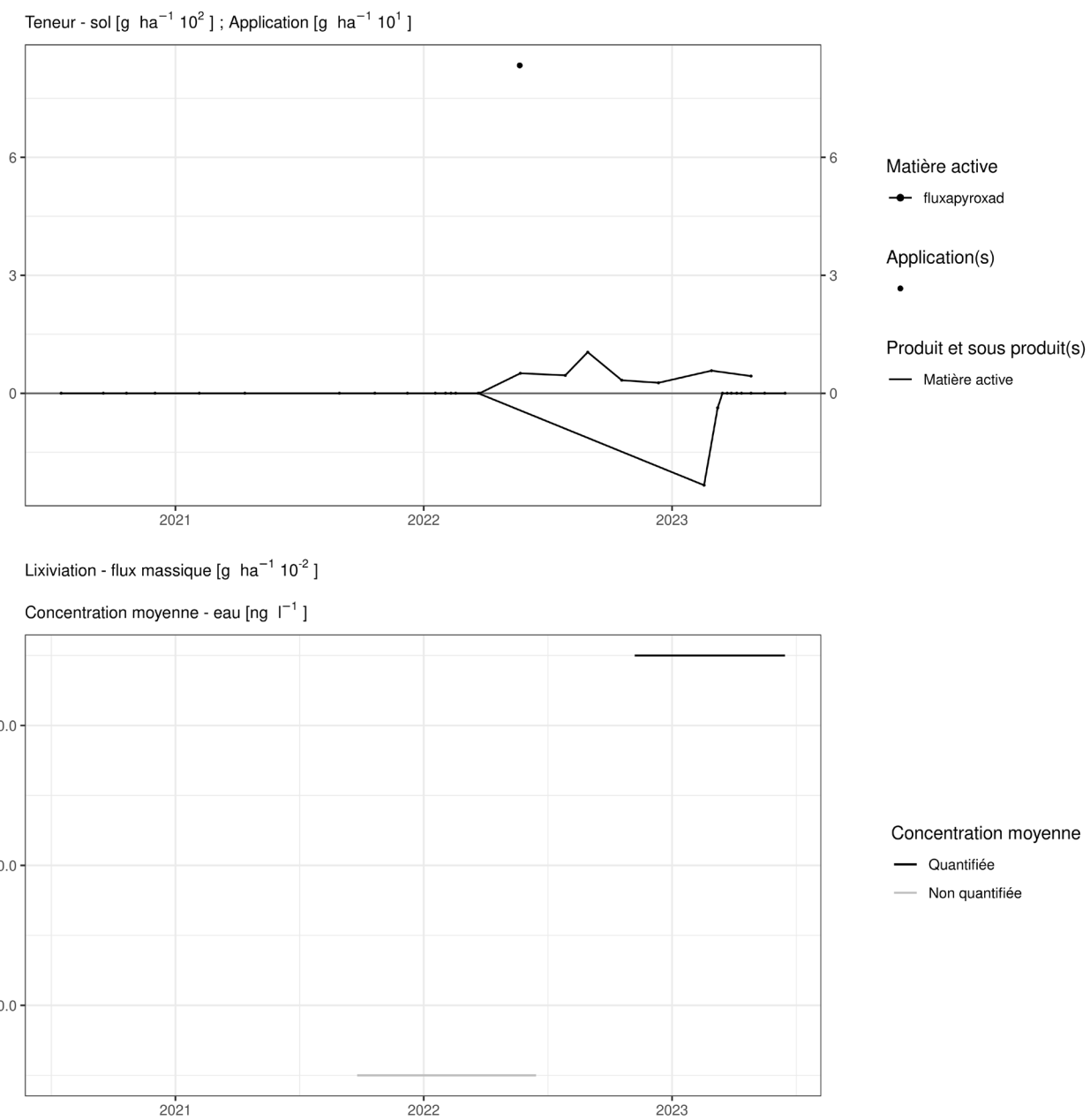
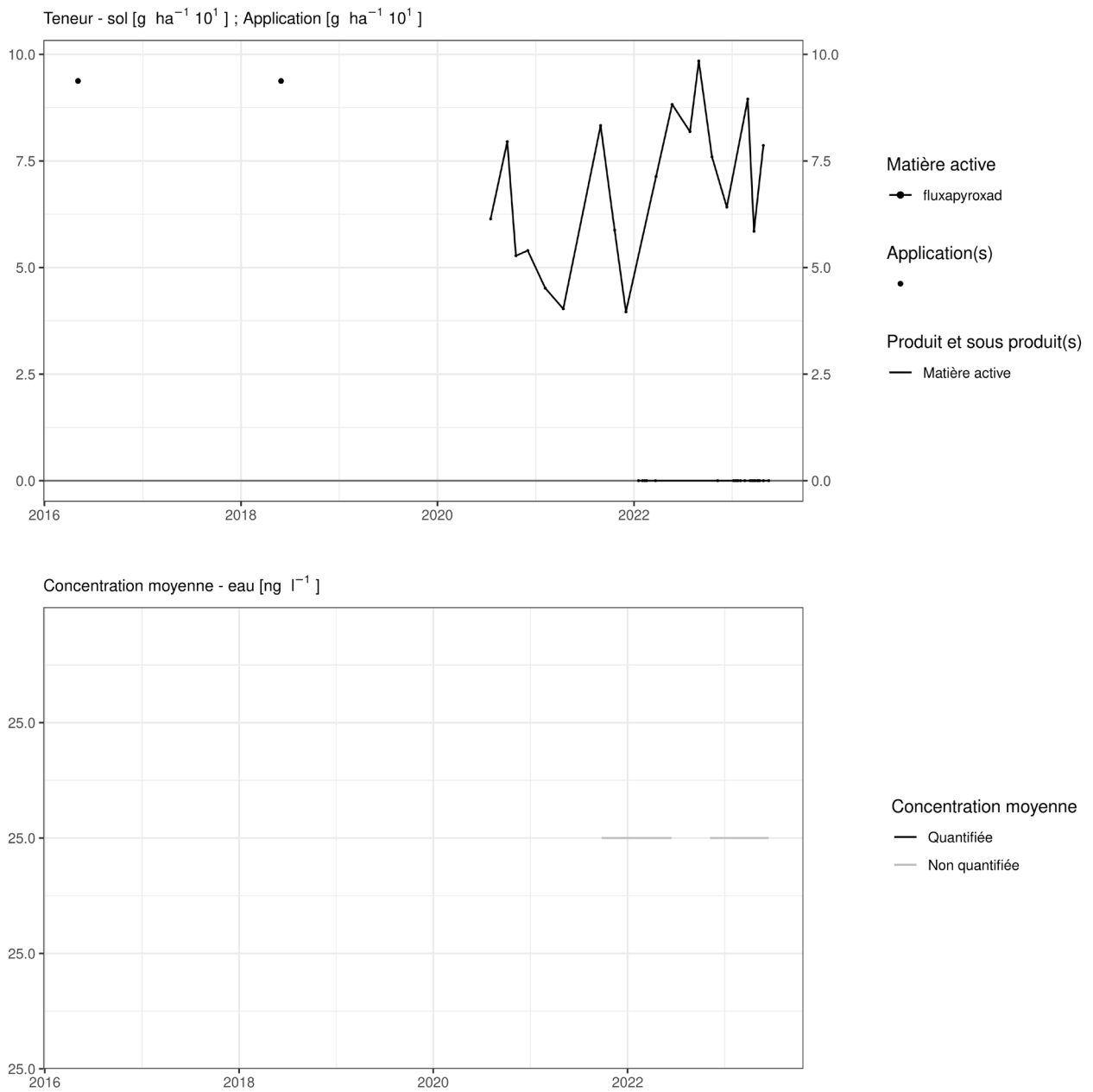


Figure 106. Applications et suivi de la teneur en fluxapyroxad dans la parcelle Haute Bova.



**Figure 107. Applications et suivi de la teneur en fluxapyroxad dans la parcelle Bovenistier.**



**Figure 108. Applications et suivi de la teneur en fluxapyroxad dans la parcelle Sole 4.**



## 4.20. Imidaclopride

L'imidaclopride est un insecticide utilisé sur pépinière d'arbres fruitiers dans une parcelles équipée d'un lysimètre.

### SOL

Deux apports de 66 g/ha ont été réalisés en 2011 et 2012 sur la parcelle Sole 4 (figure 109). Le flux de cette matière active (analyses réalisées par la SWDE) au cours des périodes de lixiviation 2011-2012 et 2012-2013 est de l'ordre de 0,005 g/ha.

### EAU

Les analyses d'eau réalisées depuis 2018 n'ont pas décelé cette matière active au-delà de la LOQ.

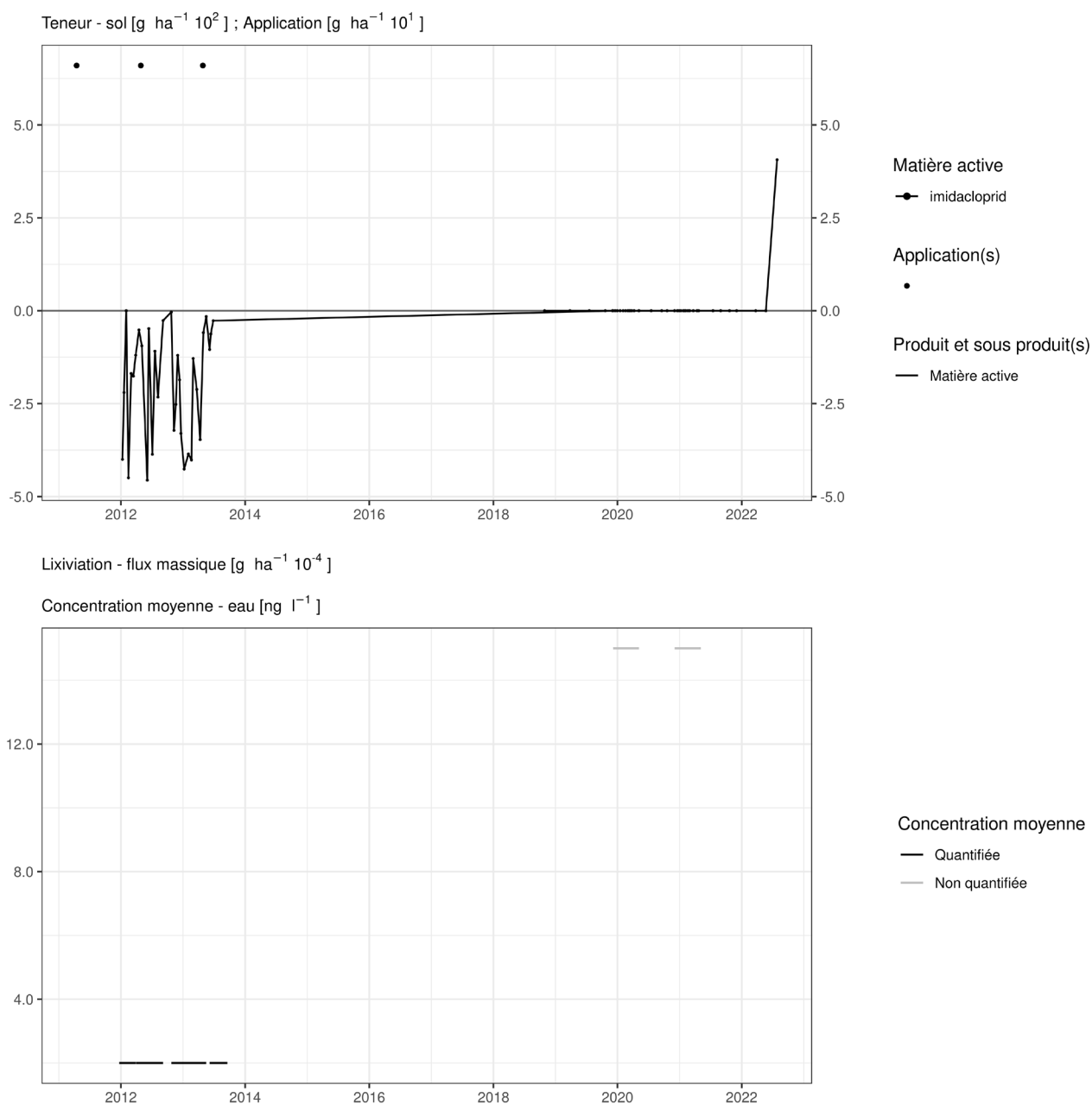



Figure 109. Applications et suivi de la teneur en imidaclopride dans la parcelle Sole 4.



Les autres parcelles équipées d'un lysimètres n'ont pas reçu de traitement de cette matière active depuis 2010 (Hesbaye) et 2005 (Sol-Résidus).

## 4.21. Mefentrifluconazole

Le mefentrifluconazole est un fongicide appliqué sur froment sur les parcelles Bovenistier et Sol-Résidus. Les observations suivantes ont pu être réalisées.

### SOL

Le lendemain de l'application, cette matière active est présente dans le sol en concentration équivalente à l'application (figure 110).

Dans les semaines et mois qui suivent le traitement, la concentration dans le sol diminue pour atteindre une teneur équivalente à une dixième de l'apport un an après le traitement (figure 110 à figure 114).

### EAU

Cette matière active a été détectée dans l'eau. Cependant, vu la LOQ très élevée (250 ng/l), les résultats ne sont pas interprétables.

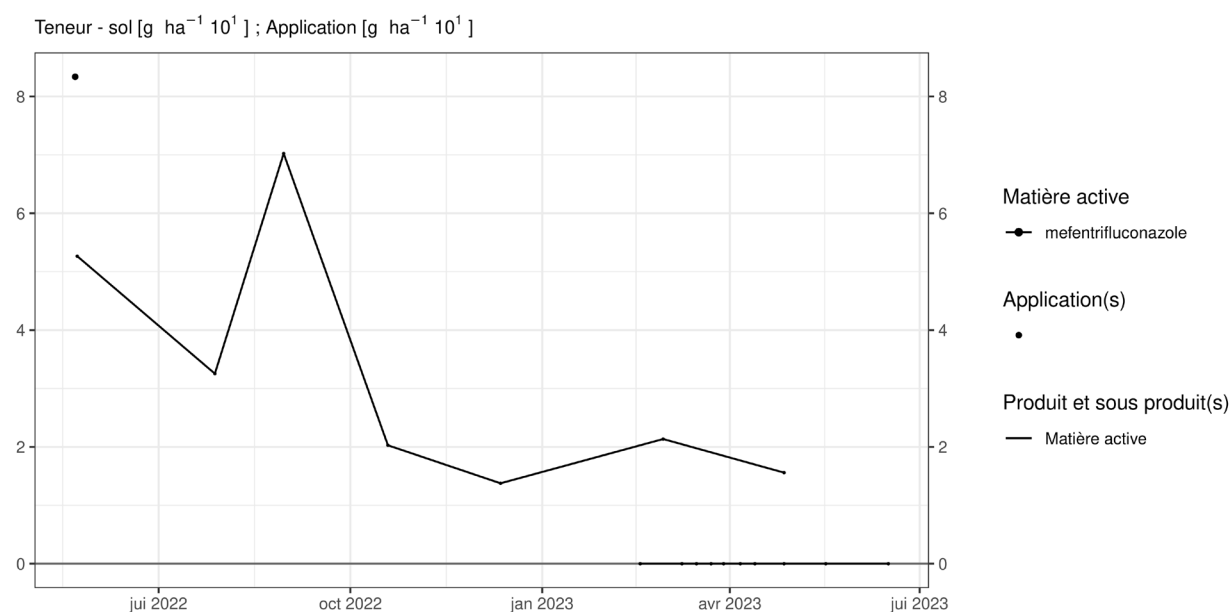


Figure 110. Applications et suivi de la teneur en mefentrifluconazole dans la parcelle Bovenistier.

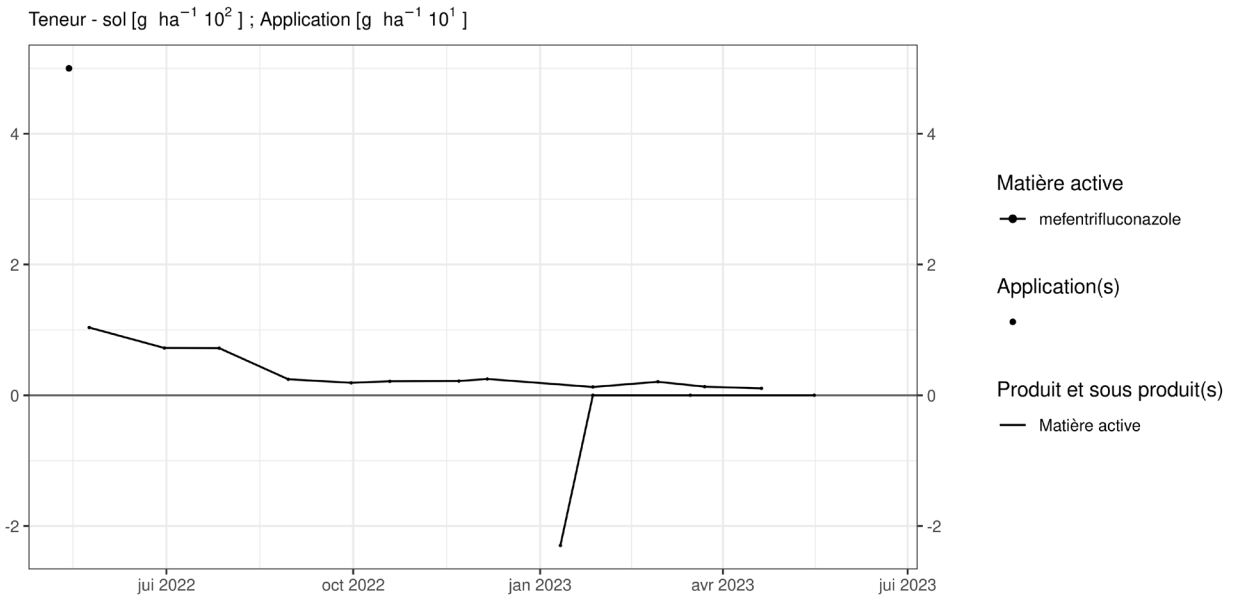


Figure 111. Applications et suivi de la teneur en mefenitruconazole dans la parcelle SR4.

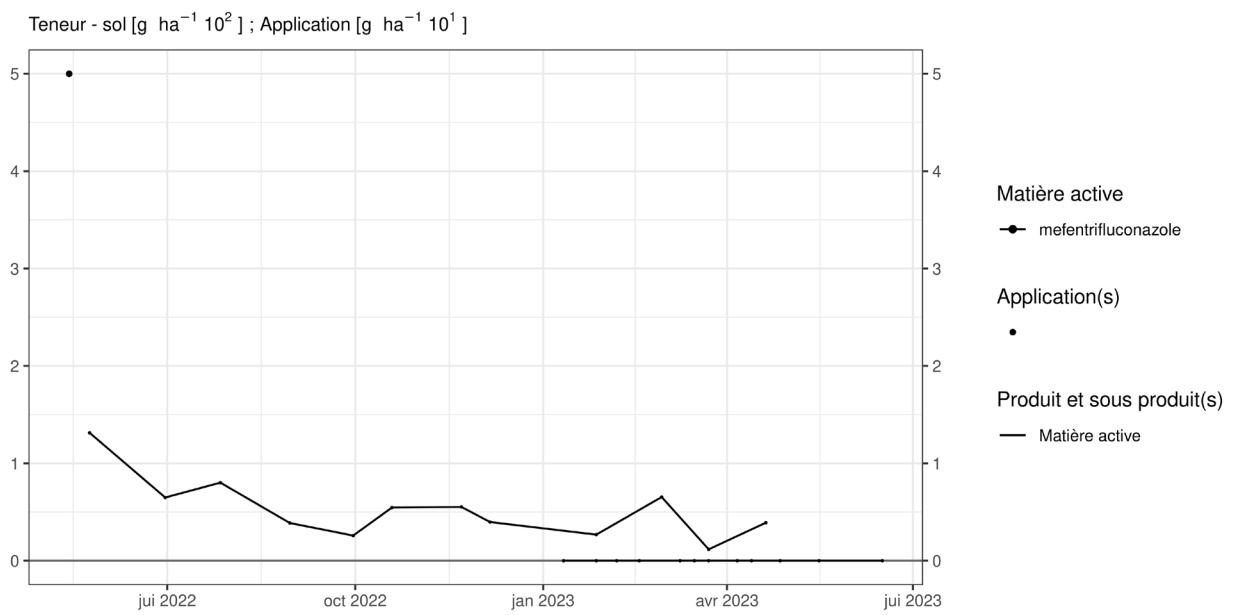


Figure 112. Applications et suivi de la teneur en mefenitruconazole dans la parcelle SR8.

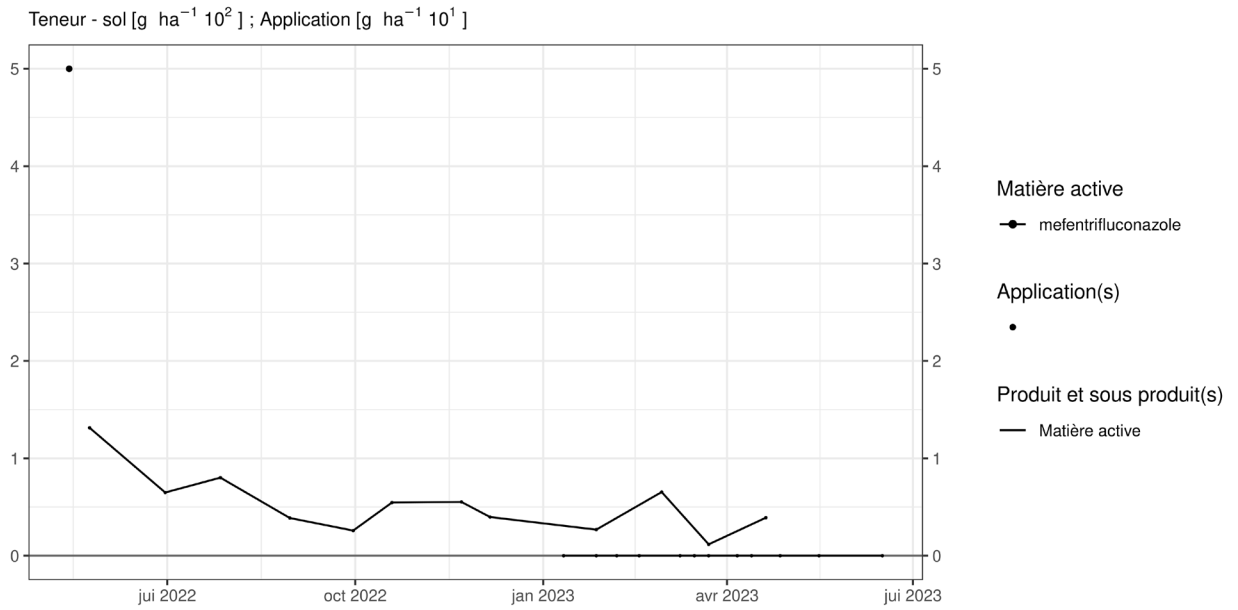


Figure 113. Applications et suivi de la teneur en mefenitruconazole dans la parcelle SR12.

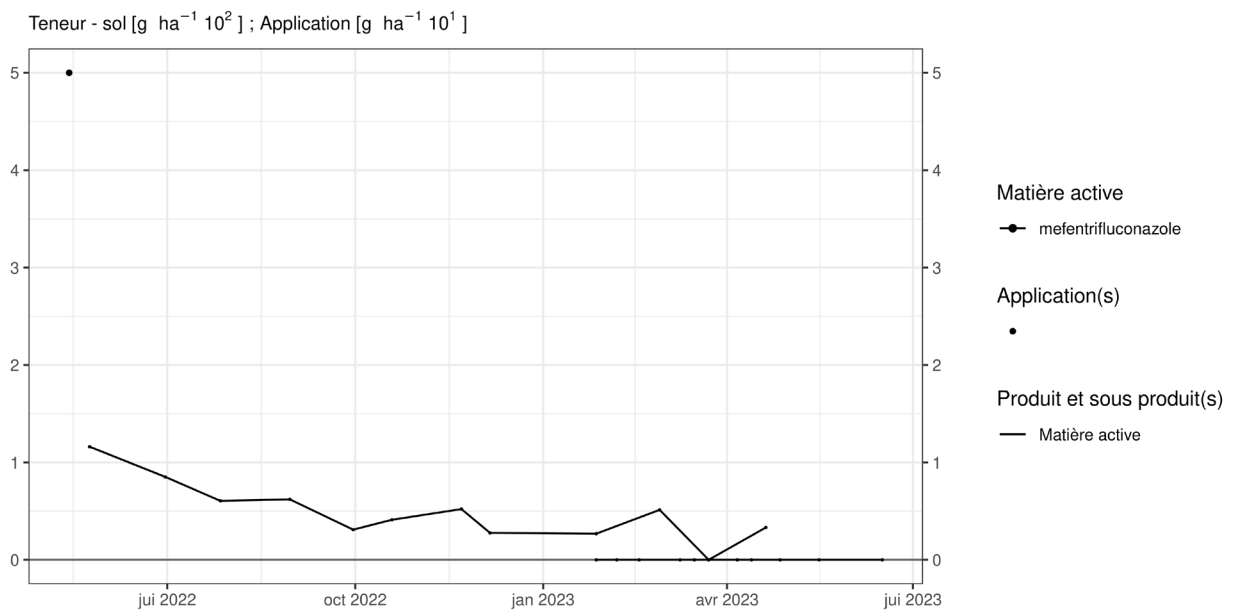


Figure 114. Applications et suivi de la teneur en mefenitruconazole dans la parcelle SR16.

## 4.22. Mesosulfuron methyl

Le mesosulfuron methyl est un herbicide utilisé sur culture de froment dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Les observations (figure 115 à figure 119) réalisées dans les sept parcelles équipées de lysimètres offrent divers enseignements.

Quelques jours après un apport de 15 g/ha en 2022 sur les parcelles Sol-Résidus, la matière active est visible en une concentration équivalant au tiers de l'apport.

Quelques semaines après un apport d'une quinzaine de g/ha (2020 sur Sol-Résidus et 2021 sur Haute Bova), la matière active n'est plus visible qu'à un dixième de son apport, voire n'est plus visible dans le sol.

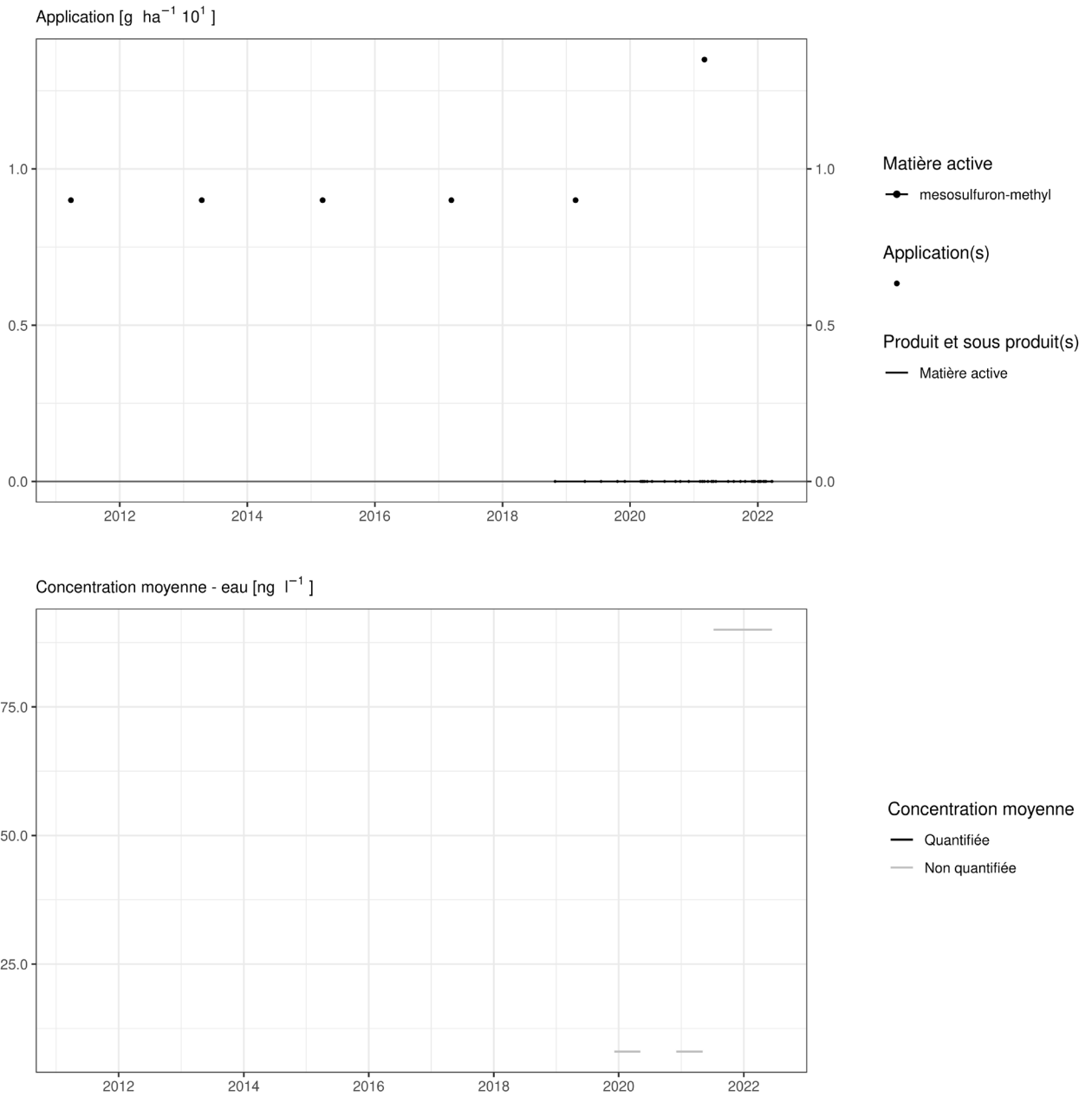
Quelques mois après un traitement, la matière active n'est plus visible dans le sol.

Cette matière active n'a plus été recherchées dans les échantillons analysés après mars 2022.

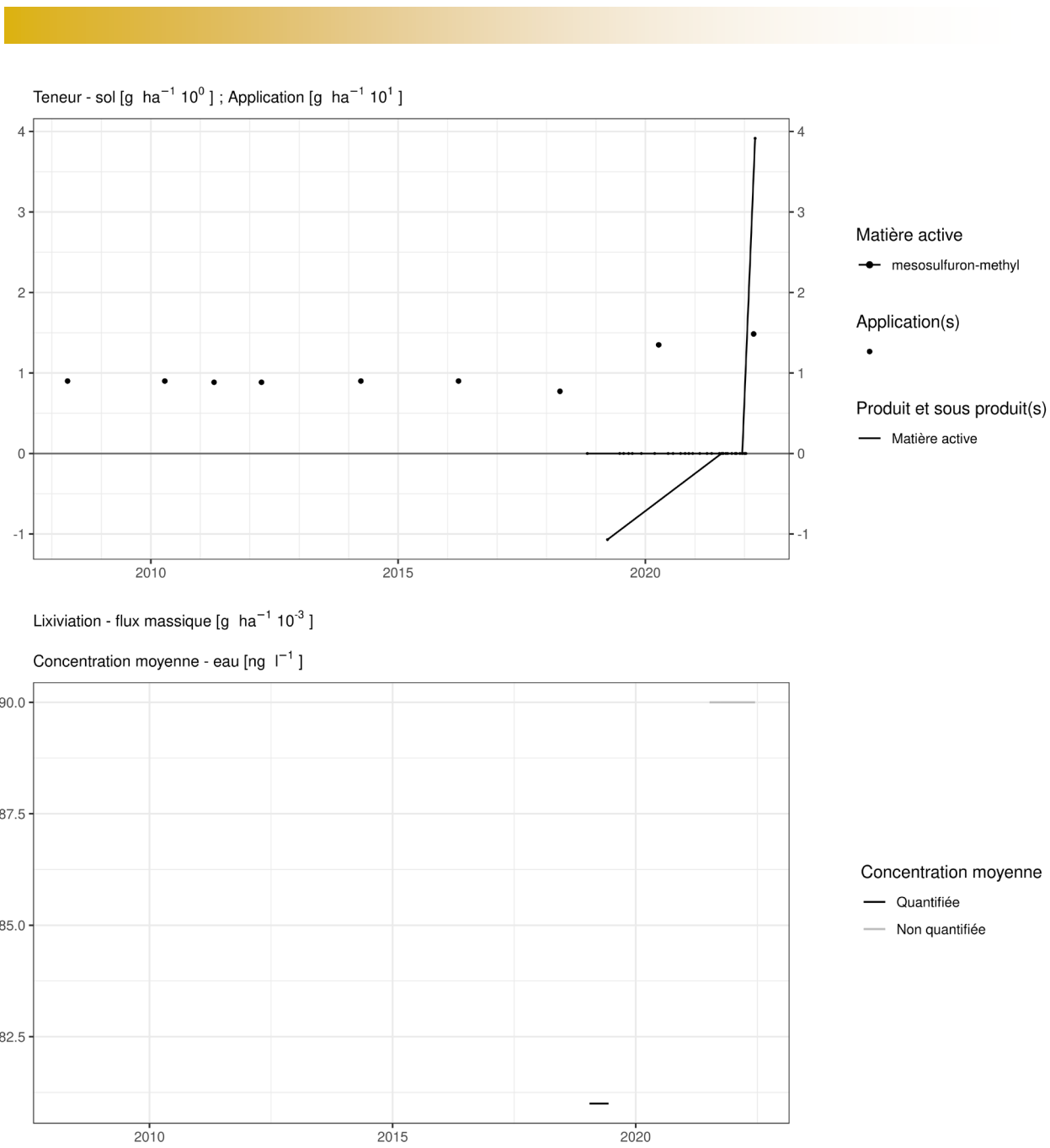
### **EAU**

Cette matière active n'a été quantifiée que dans deux échantillons d'eau.

Les concentrations moyennes de saison de drainage sont généralement inférieure à la LOQ.

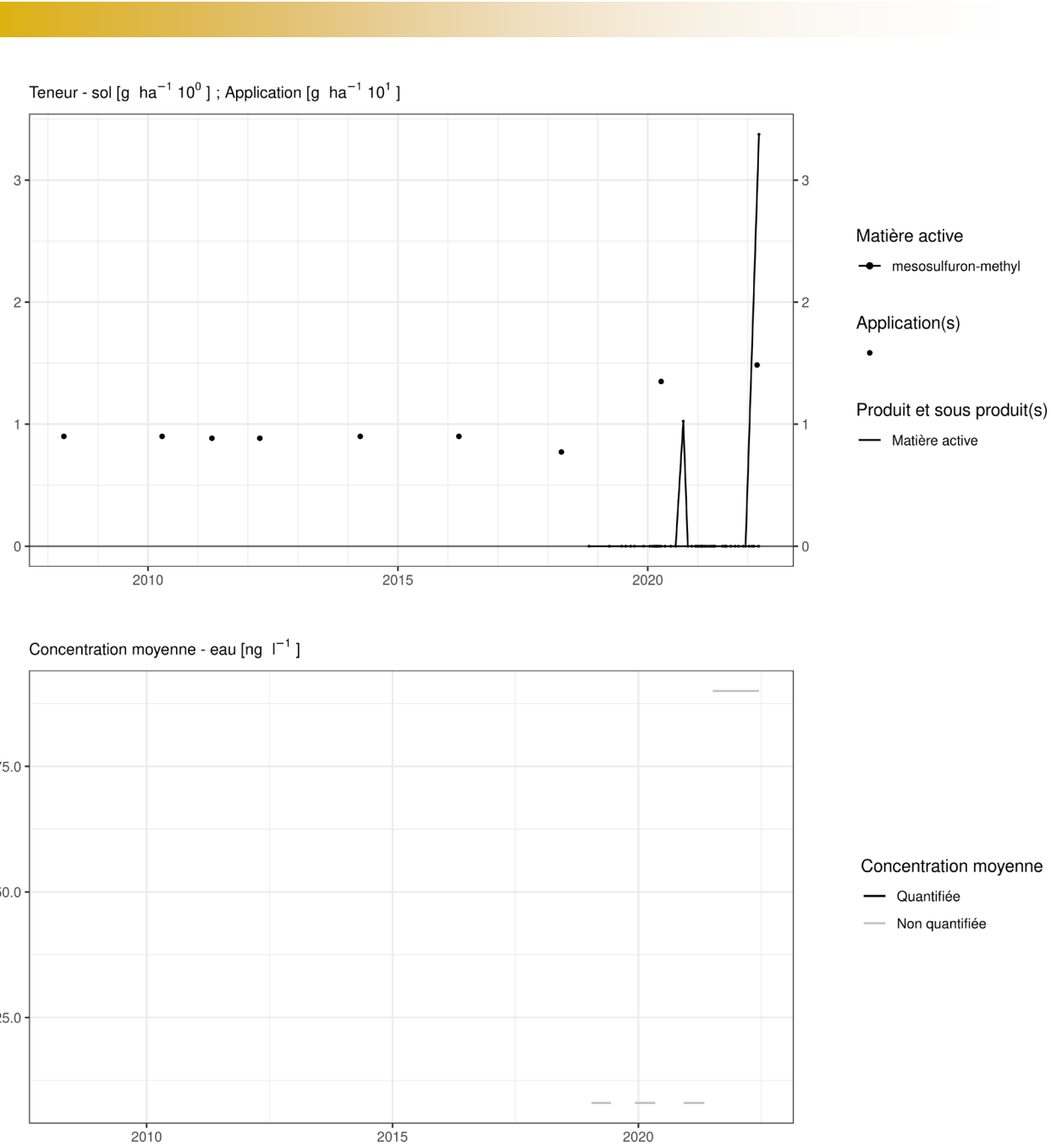


**Figure 115. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle Haute Bova.**

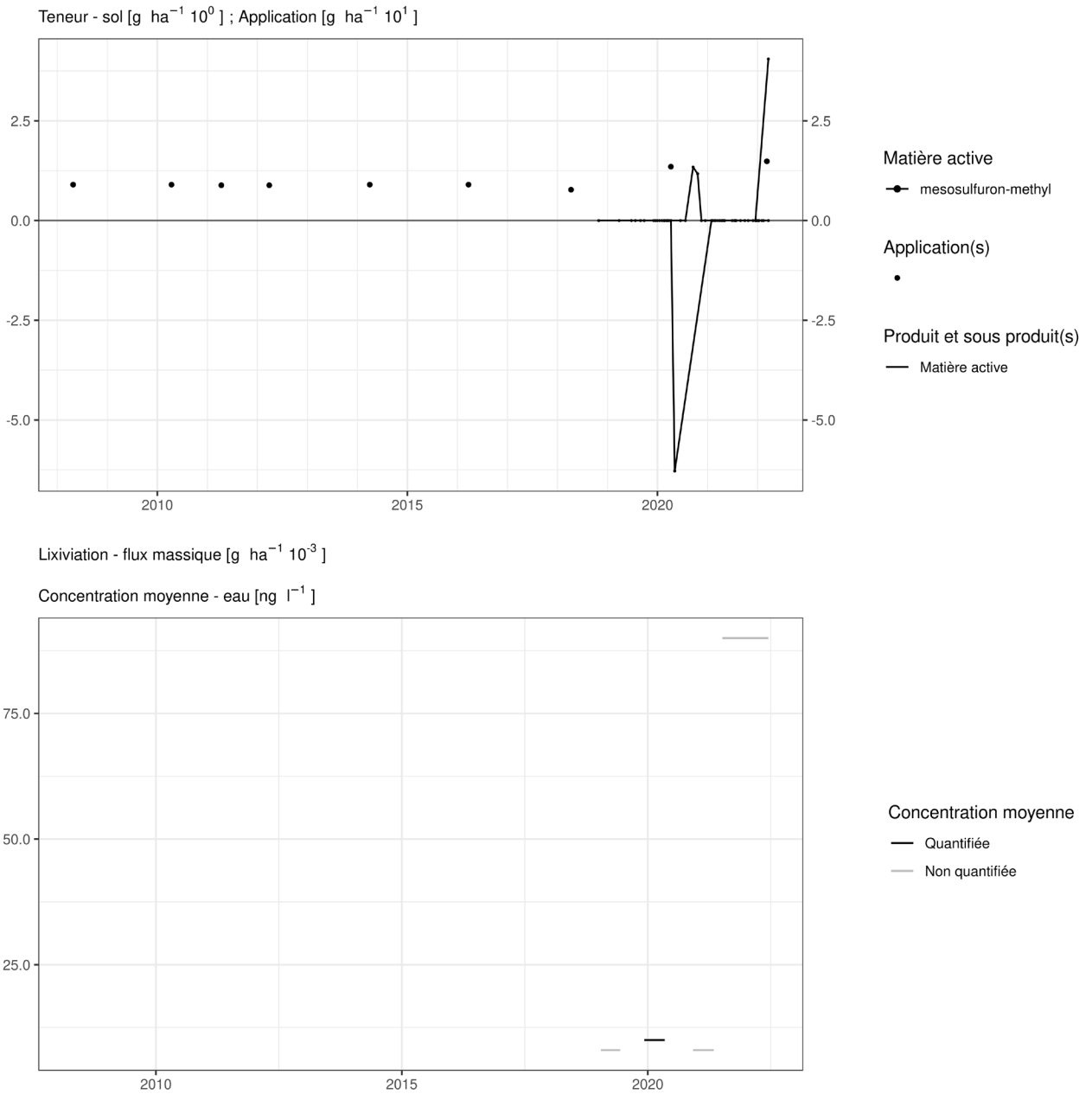


**Figure 116. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR4.**



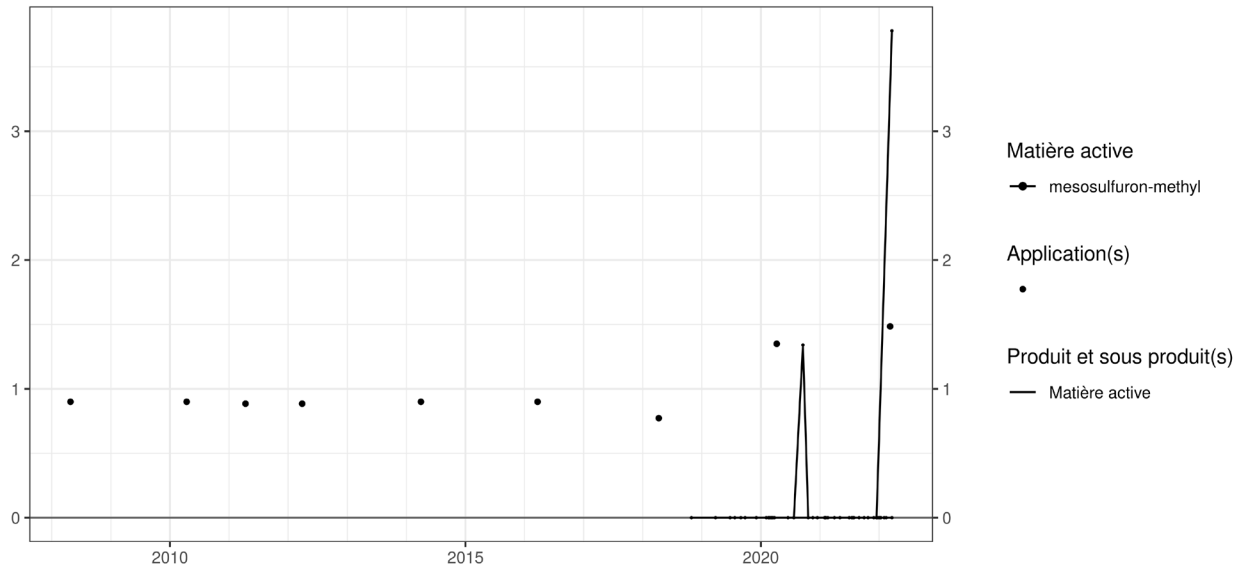


**Figure 117. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR8.**



**Figure 118. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR12.**

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>0</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

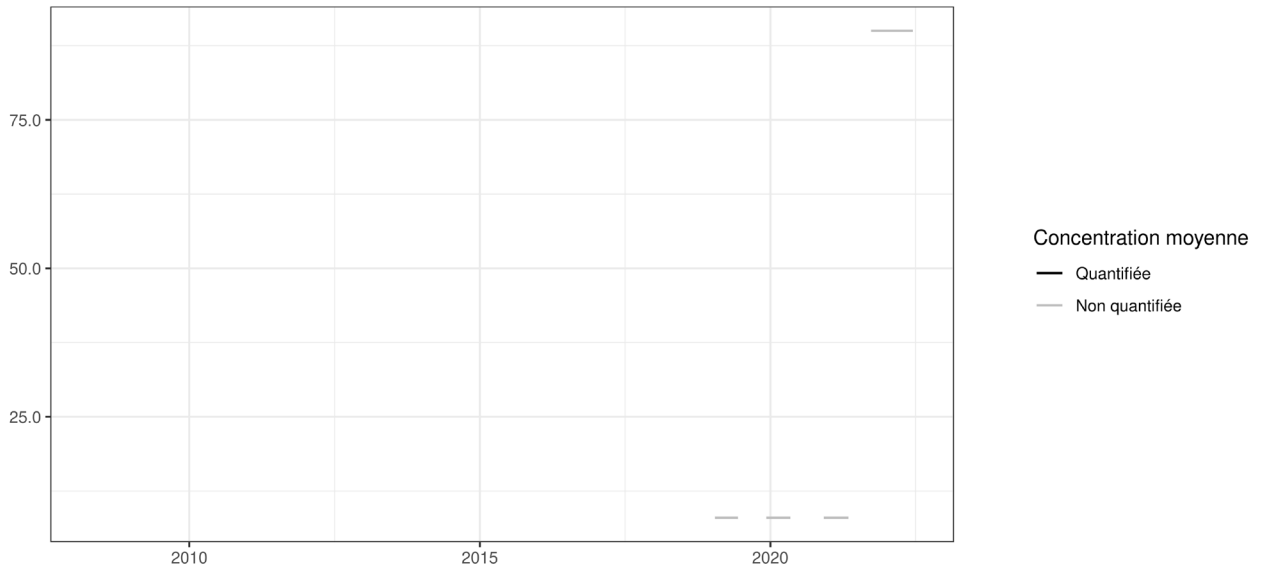


Figure 119. Applications et suivi de la teneur en mesosulfuron methyl dans la parcelle SR16.

## 4.23. Mesotrione

La mesotrione est un herbicide utilisé sur culture de maïs dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### SOL

Quelques jours après une application de cette matière active sur les parcelles Sol-Résidus (figures 120 à 123), elle est décelée dans le sol à une concentration équivalente à l'apport (quelques dizaines de grammes par hectare).

Un mois après l'apport, cette matière n'est plus décelée dans le sol.

### EAU

Mis à part deux observations, cette matière active n'est pas présente aux exutoires des lysimètres.

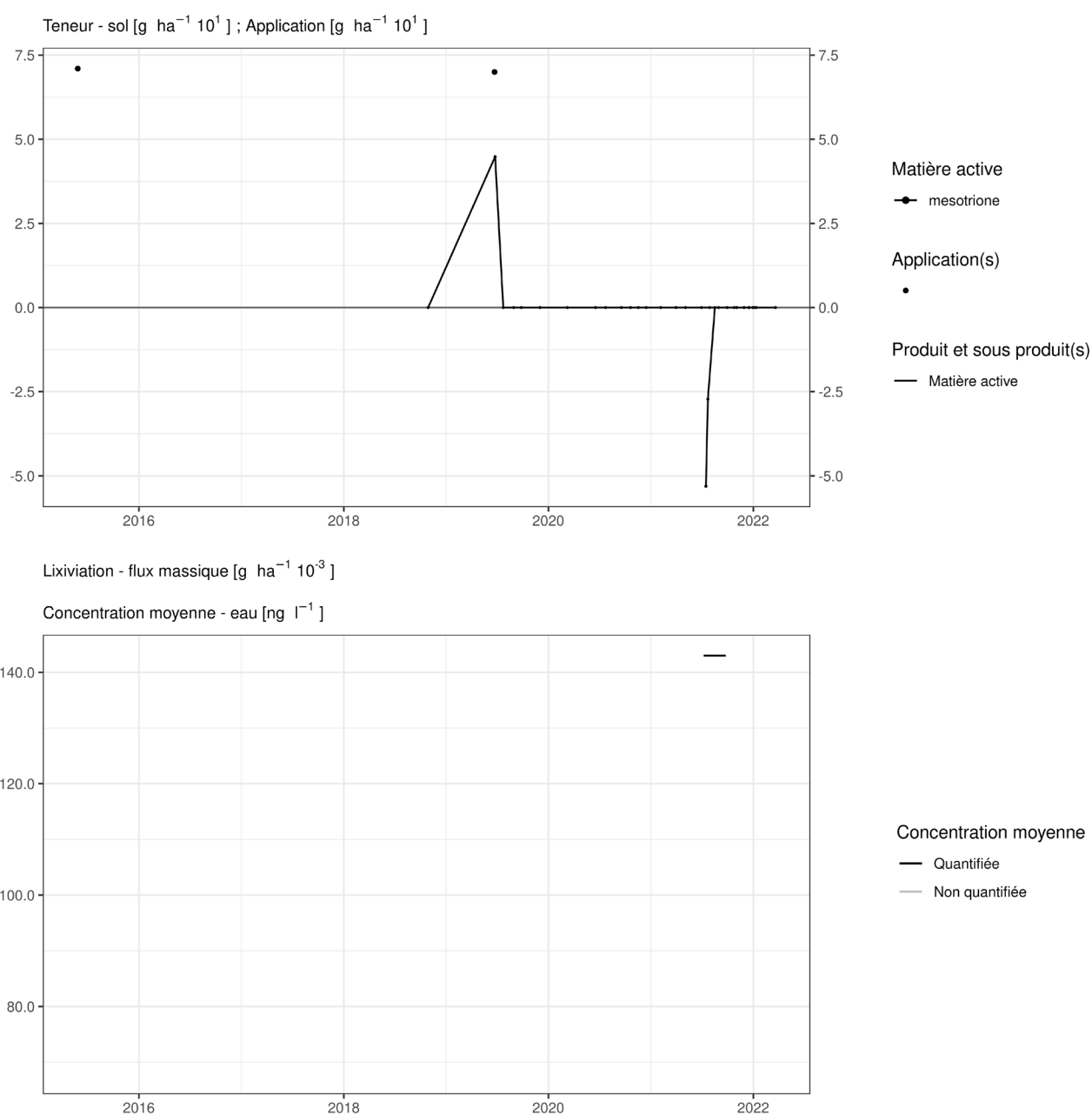
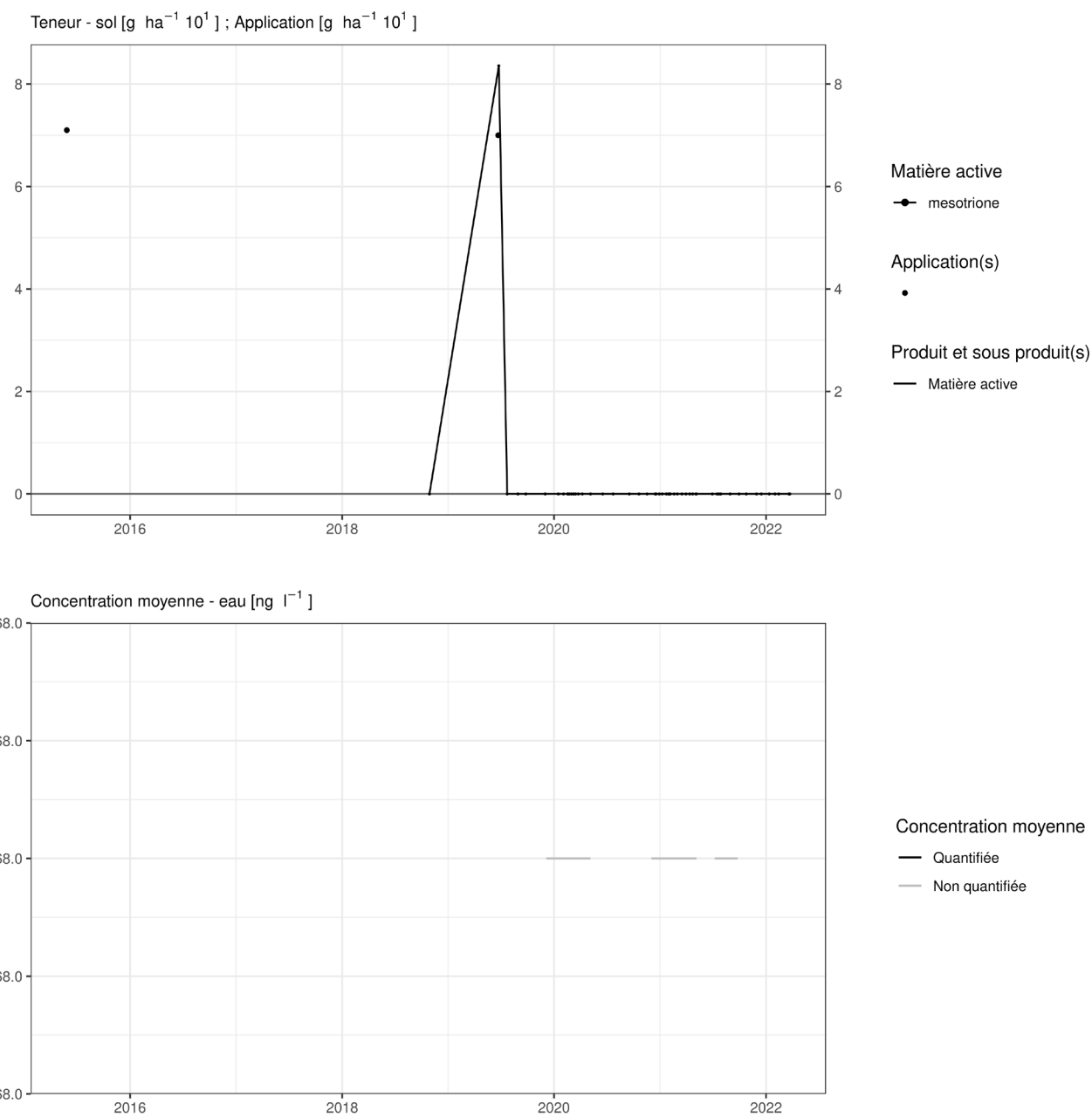
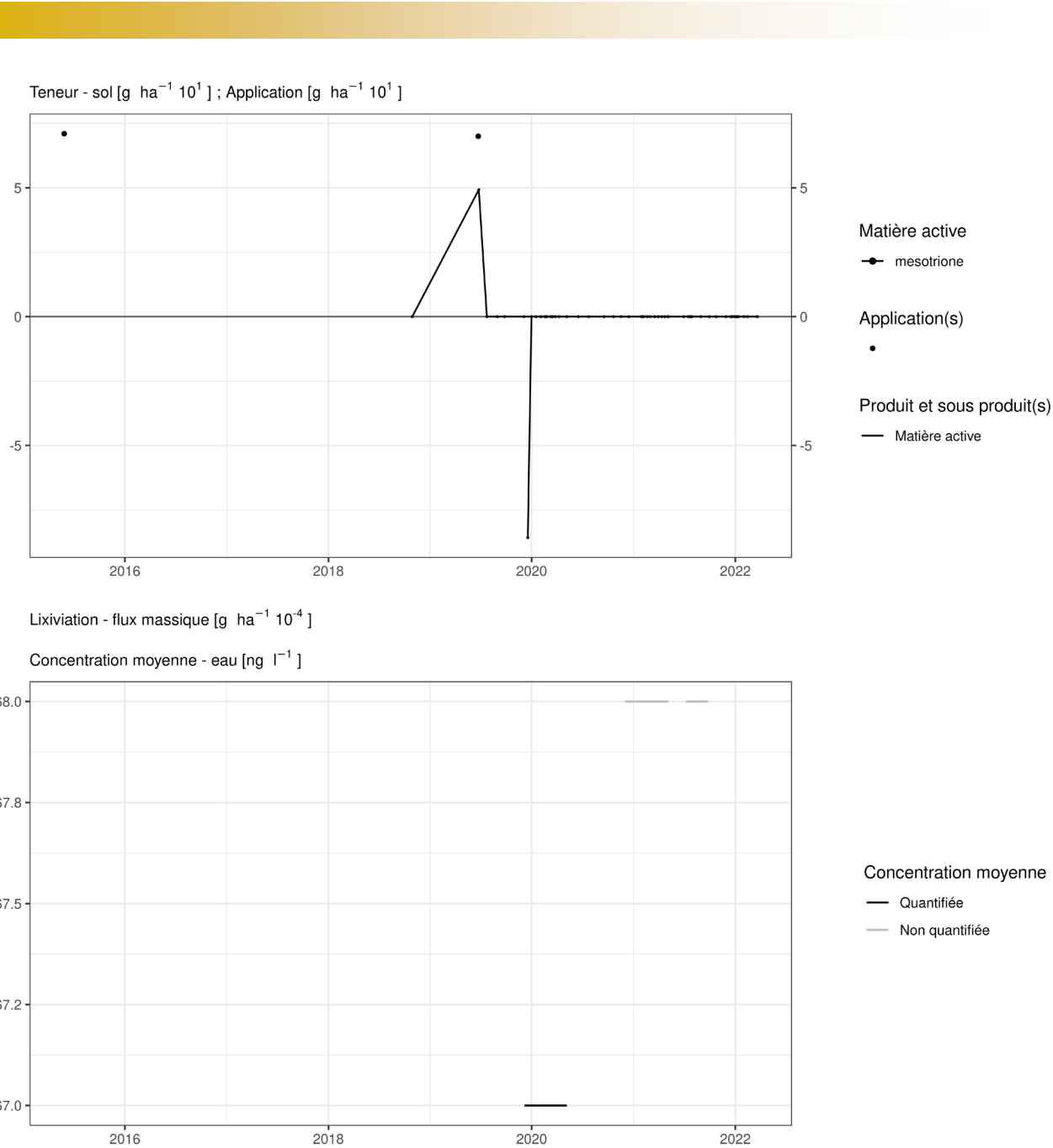


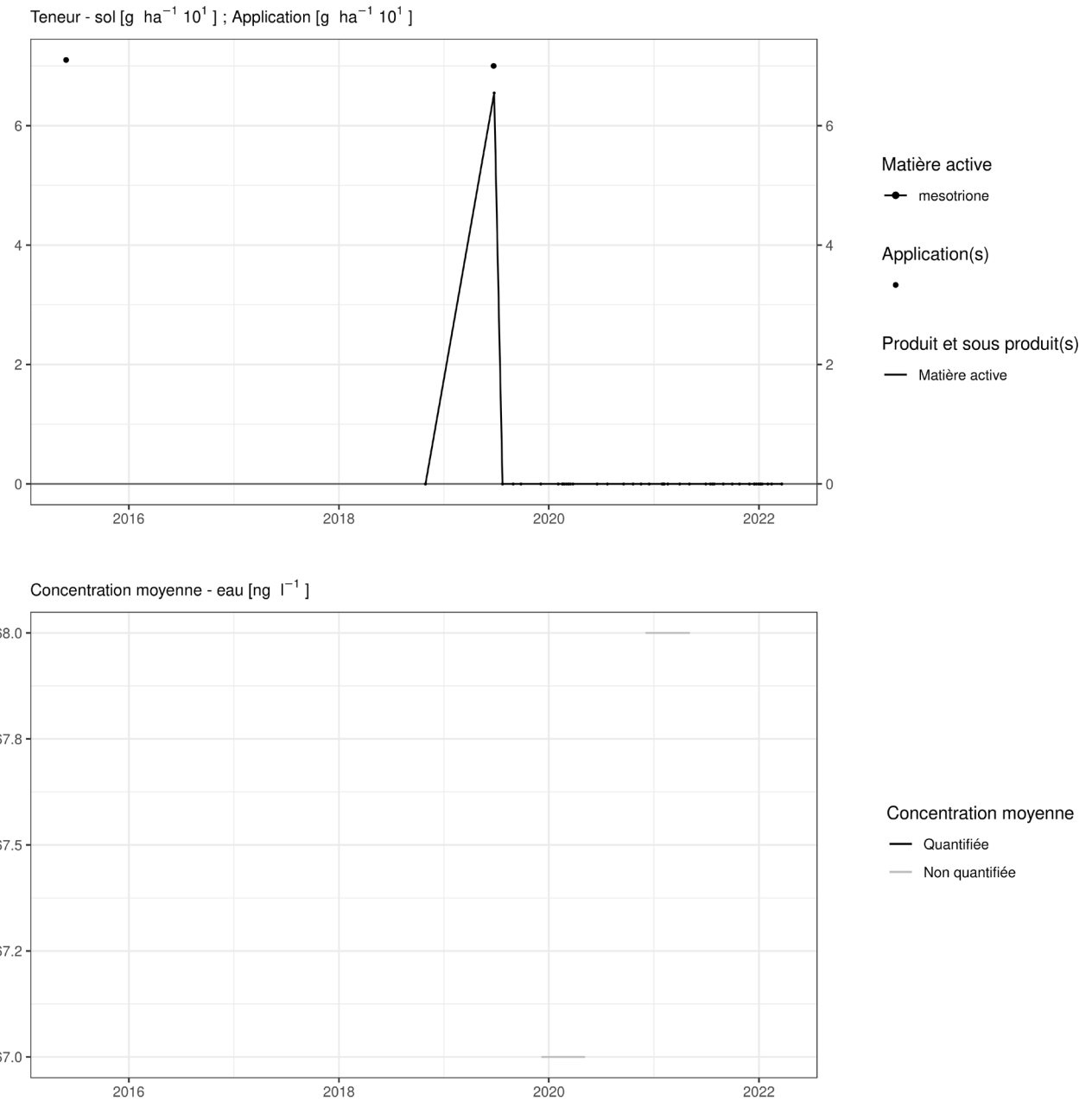
Figure 120. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR4.



**Figure 121. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR8.**



**Figure 122. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR12.**



**Figure 123. Applications et suivi de la teneur en mesotrione dans la parcelle SR16.**

## 4.24. Metamitron

Le metamitron est un herbicide utilisé sur culture de betterave dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Les observations (figures 124 à 131) réalisées dans les huit parcelles équipées de lysimètres offrent divers enseignements.

Quelques jours après l'apport, seul le metamitron desamino est visible (Haute Bova et Chemin de fer en 2018) : un apport d'un peu plus de 500 g/ha engendre une concentration de ce métabolite d'une centaine de grammes par ha. Il n'est plus mesuré dans les échantillons prélevés ultérieurement car ce premier échantillon avait été analysé par l'ISSEP, les suivants par le CRAW (qui ne quantifie pas ce métabolite).

Quelques semaines après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport d'un peu plus de 500 g/ha réalisé au printemps 2018 engendre, fin d'été de la même année, une concentration dans le sol de l'ordre d'une dizaine de grammes par hectare ;
- sur la parcelle Chemin de fer, un même traitement en 2018 engendre, fin d'été de la même année, une concentration dans le sol d'environ 80 g/ha ;
- sur la parcelle Bovenistier, trois apports totalisant un peu plus de 1400 g/ha au printemps 2019 conduisent, en été 2019 à une concentration dans le sol de 50 g/ha ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, trois apports totalisant un peu plus de 1500 g/ha ont été réalisés au printemps 2021. La concentration dans le sol a atteint en été environ 20 g/ha.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes indiquent des concentrations dans le sol qui n'excèdent pas la dizaine de grammes par hectare.

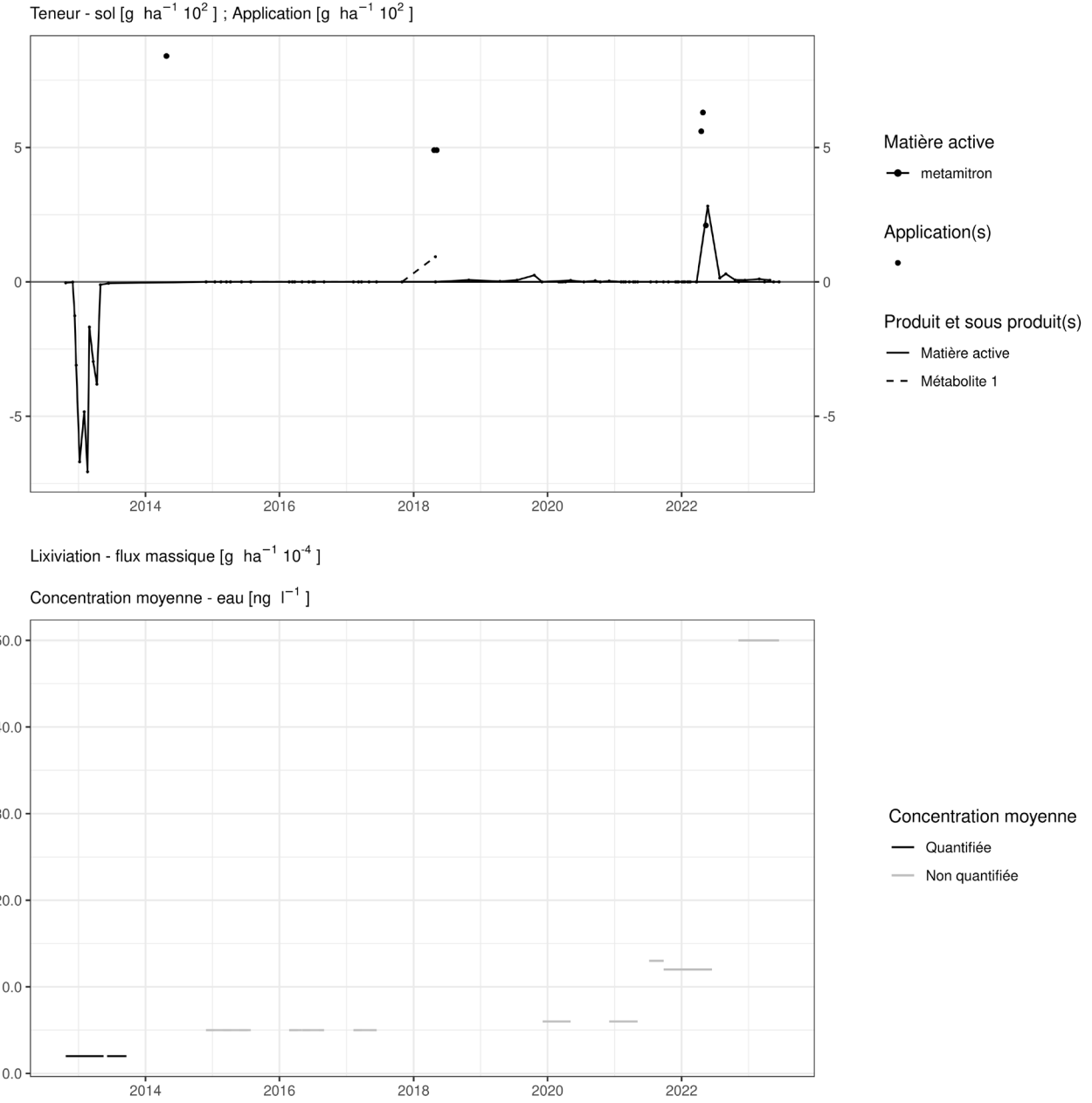
A plus long terme (environ quatre ans après l'apport), la substance n'est plus décelée dans le sol (Haute Bova, Chemin de fer, Bovenistier, Sole 4).

### **EAU**

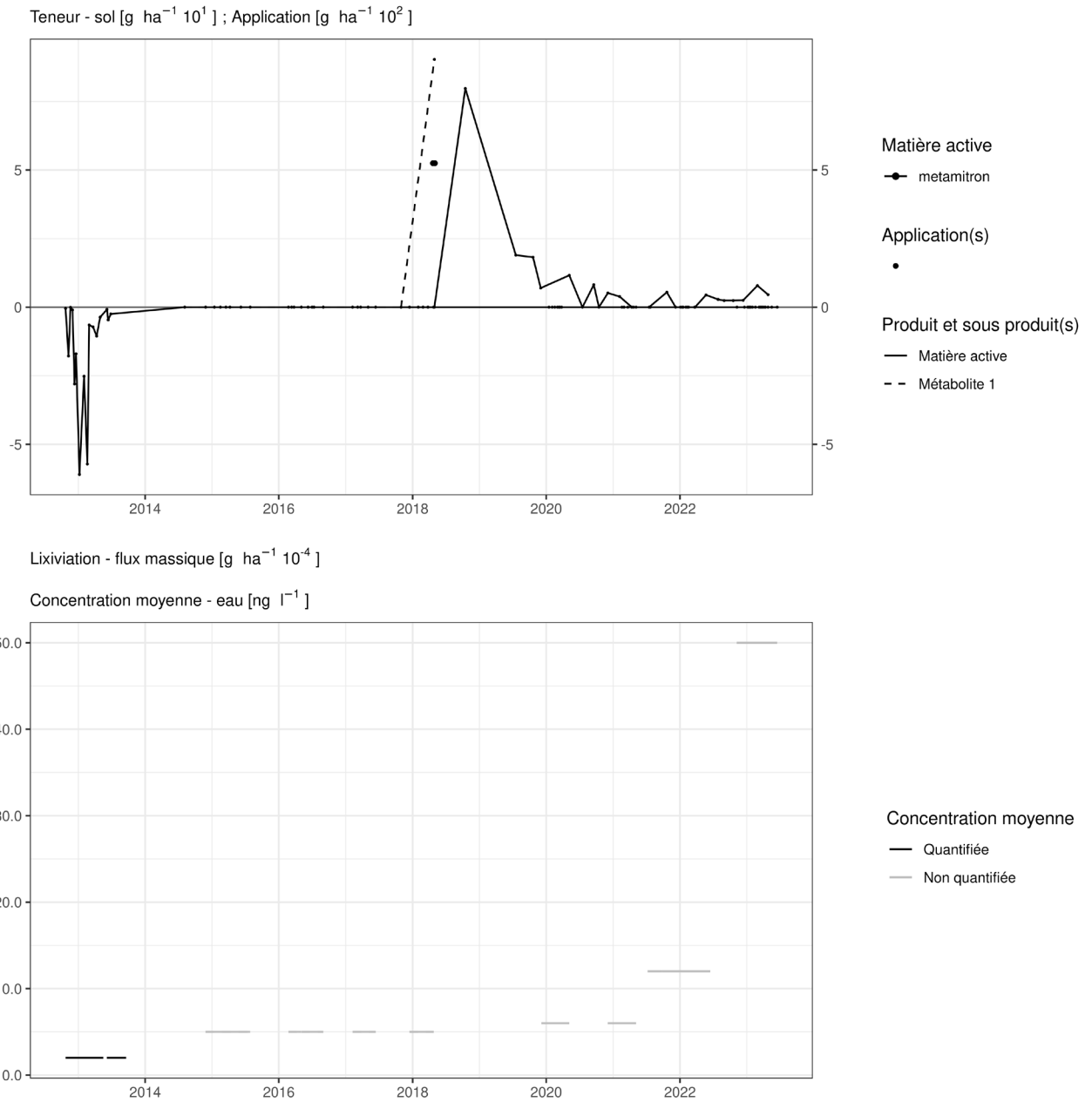
Cette matière active a été observée dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires de trois des quatre lysimètres de Sol-Résidus fin du printemps 2021 (reprise d'écoulement suite à une forte pluviométrie) après des apports réalisés quelques semaines auparavant. Les flux observés (de 0,02 à 0,2 g/ha) représentent au maximum 0,01 % de la quantité apportée.

Les concentrations moyennes de saison de drainage sont généralement inférieure à la LOQ à l'exception de la reprise de drainage observée en été 2021 où les concentrations se situent entre 40 et 500 ng/l.

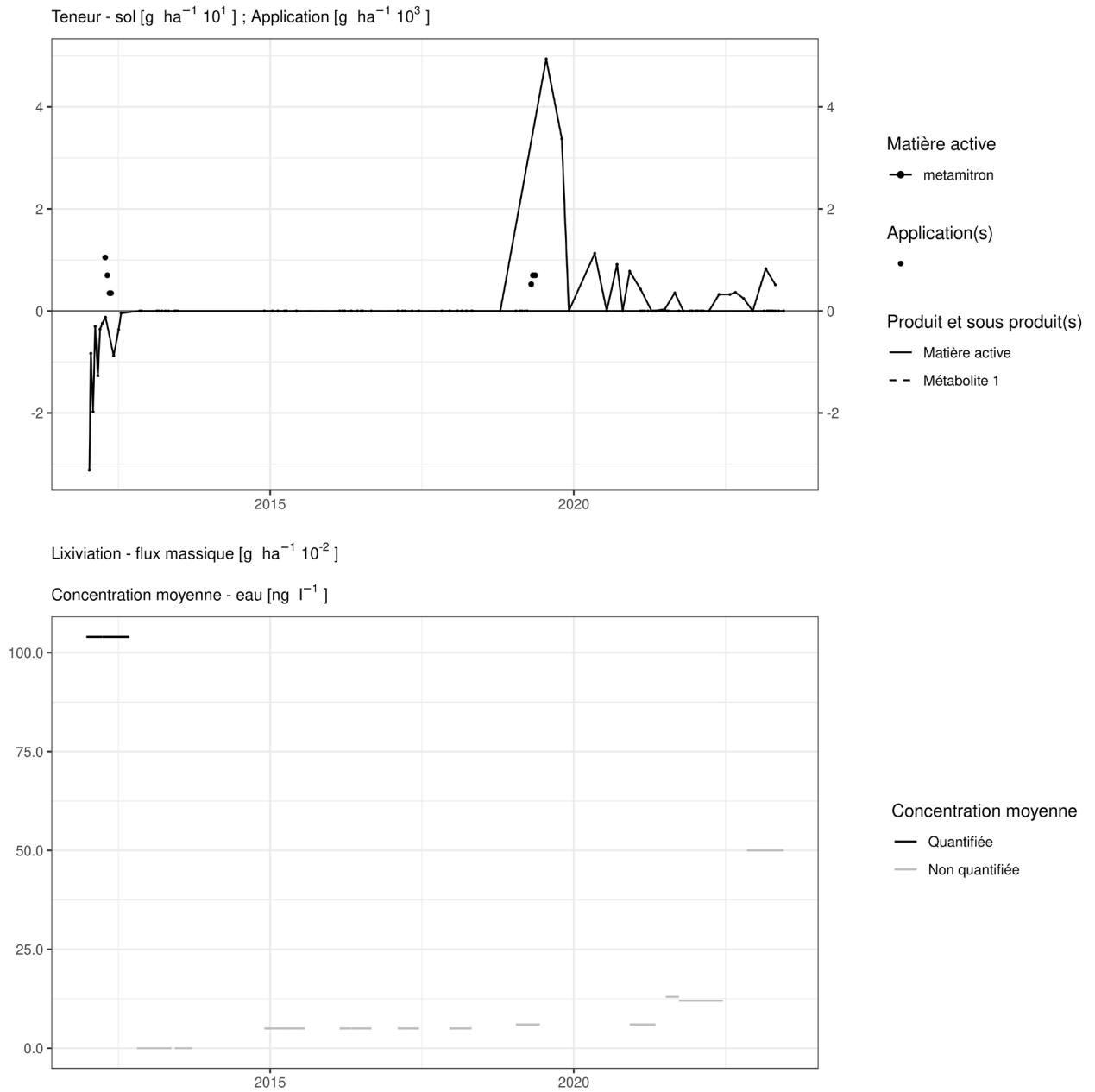




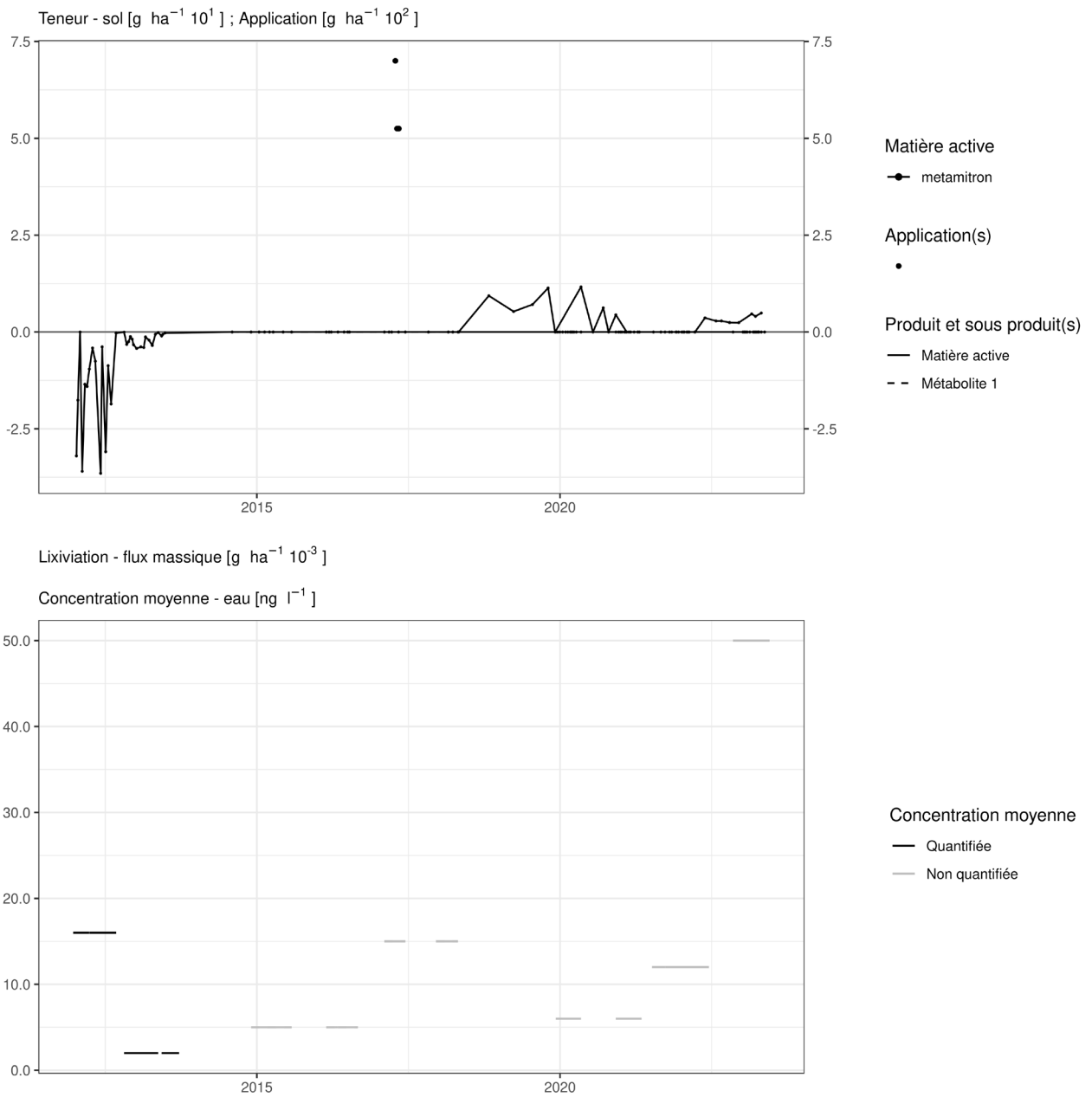
**Figure 124. Applications et suivi de la teneur en metamitron et de son métabolite (metamitron desamino libellé 'Métabolite 1') dans la parcelle Haute Bova.**



**Figure 125. Applications et suivi de la teneur en metamitron et de son métabolite (metamitron desamino libellé 'Métabolite 1') dans la parcelle Chemin de fer.**



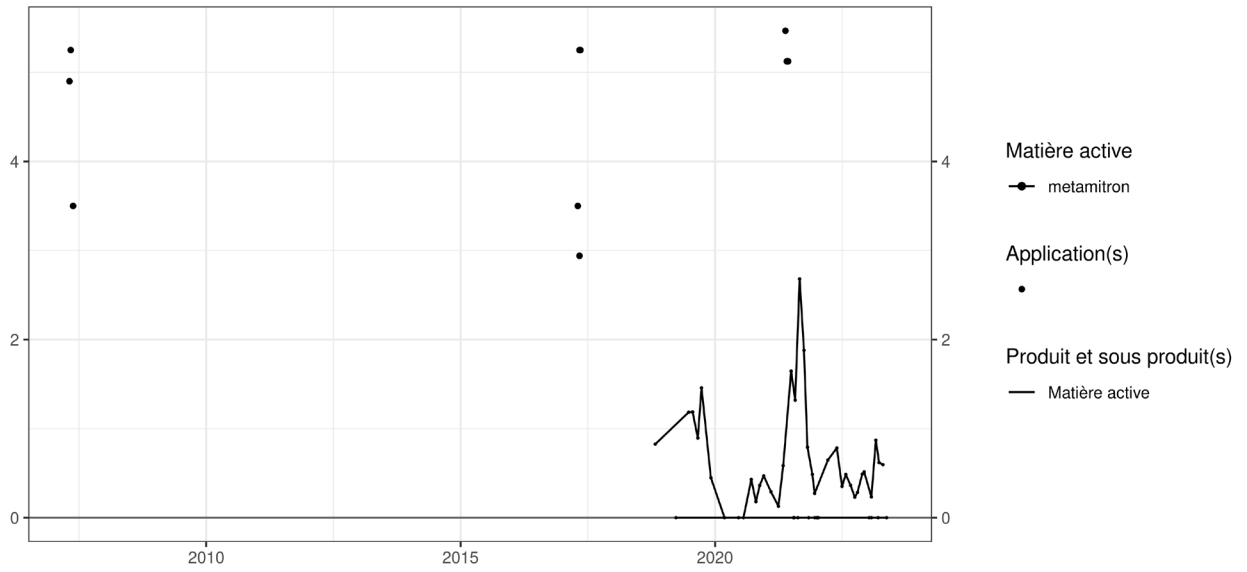
**Figure 126. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle Bovenistier.**



**Figure 127. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle Sole 4.**



Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

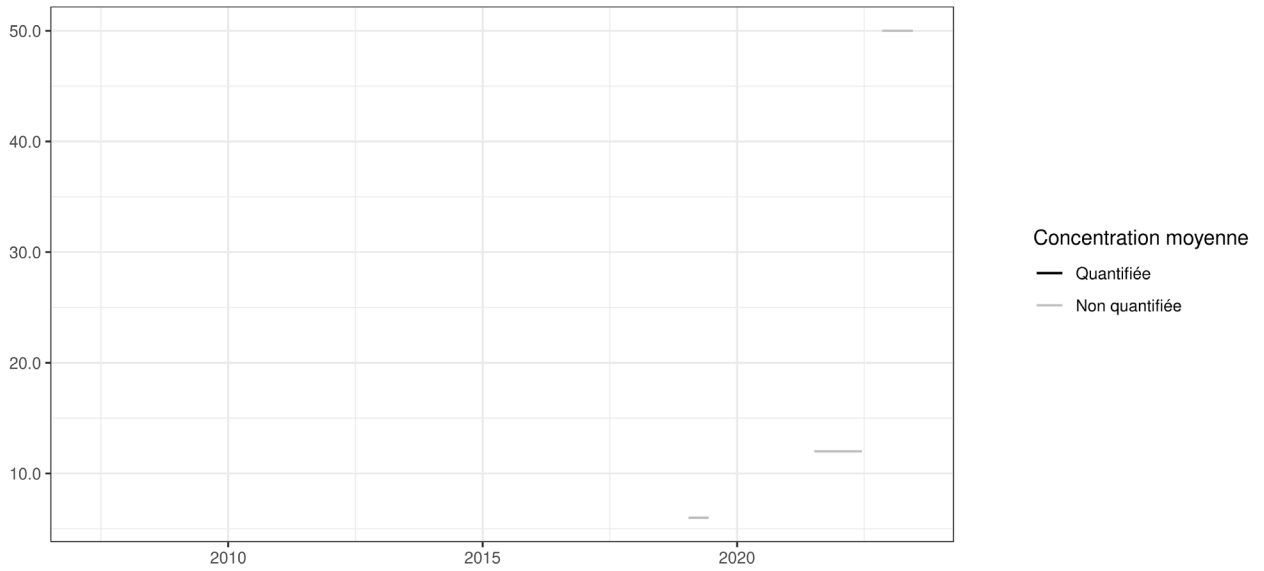
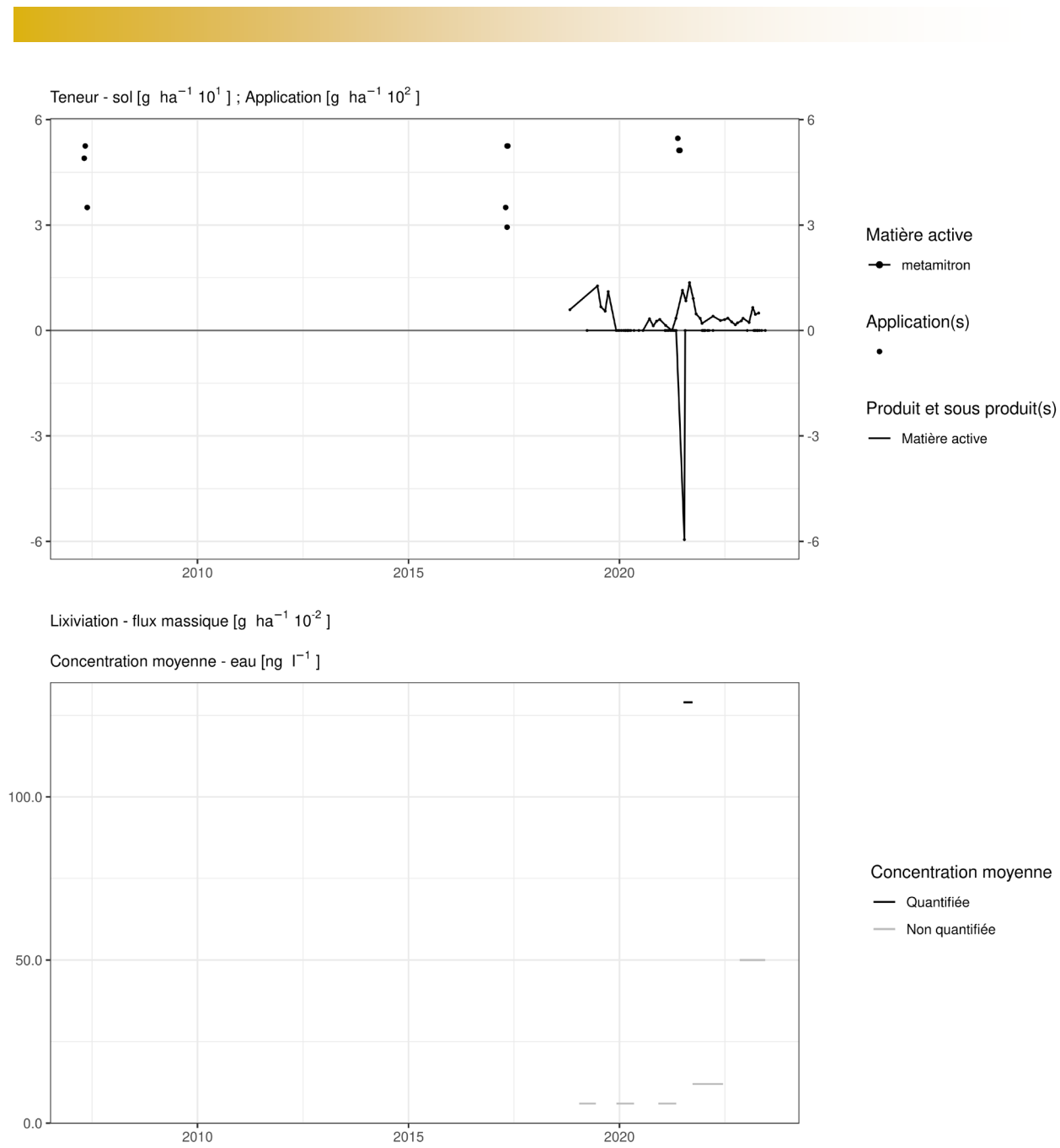


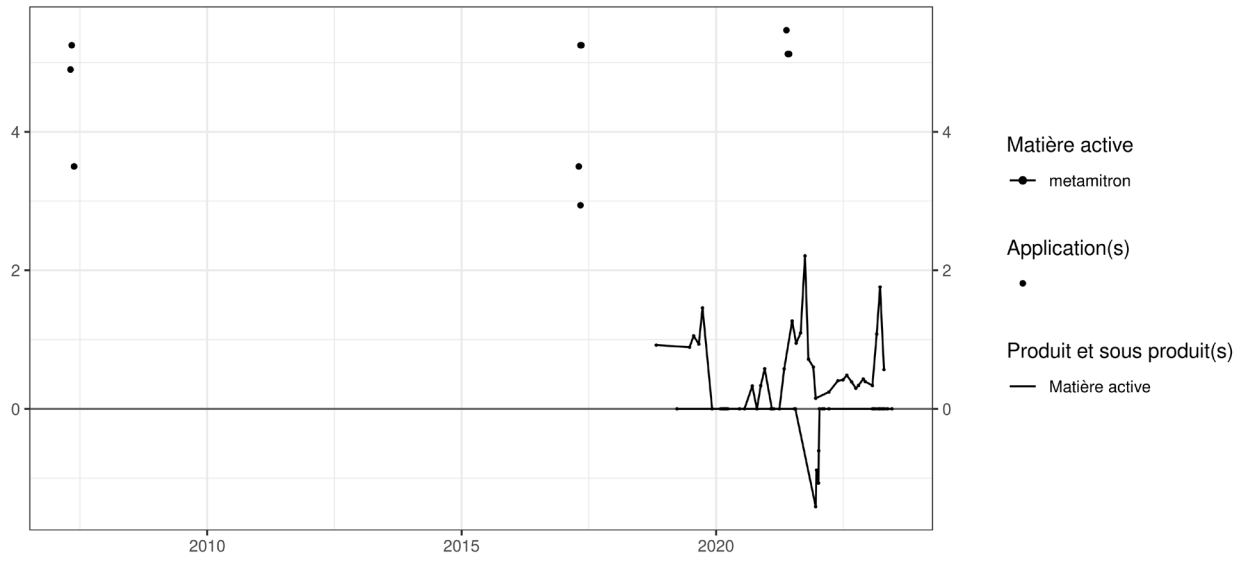
Figure 128. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle SR4.





**Figure 130. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle SR12.**

Teneur - sol [ $\text{g ha}^{-1} 10^1$ ] ; Application [ $\text{g ha}^{-1} 10^2$ ]



Lixiviation - flux massique [ $\text{g ha}^{-1} 10^{-2}$ ]

Concentration moyenne - eau [ $\text{ng l}^{-1}$ ]

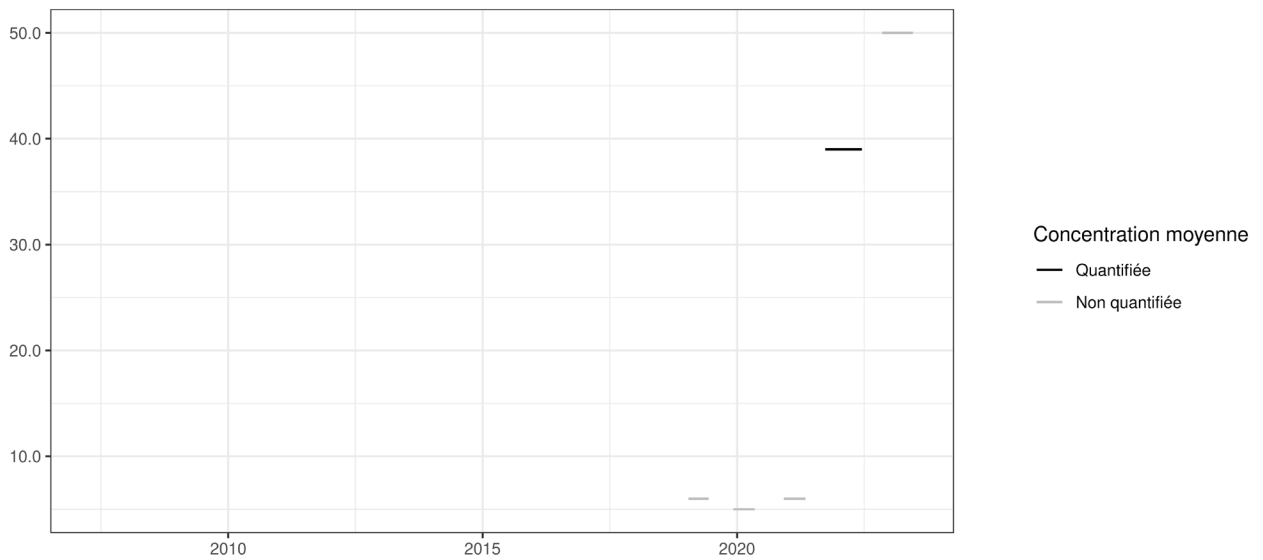


Figure 131. Applications et suivi de la teneur en metamitron dans la parcelle SR16.



## 4.25. Metazachlore

Le metazachlore est un herbicide utilisé sur culture de colza et de poireaux dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Cette matière active n'a pas été 'récemment' utilisée sur les parcelles équipées d'un lysimètre.

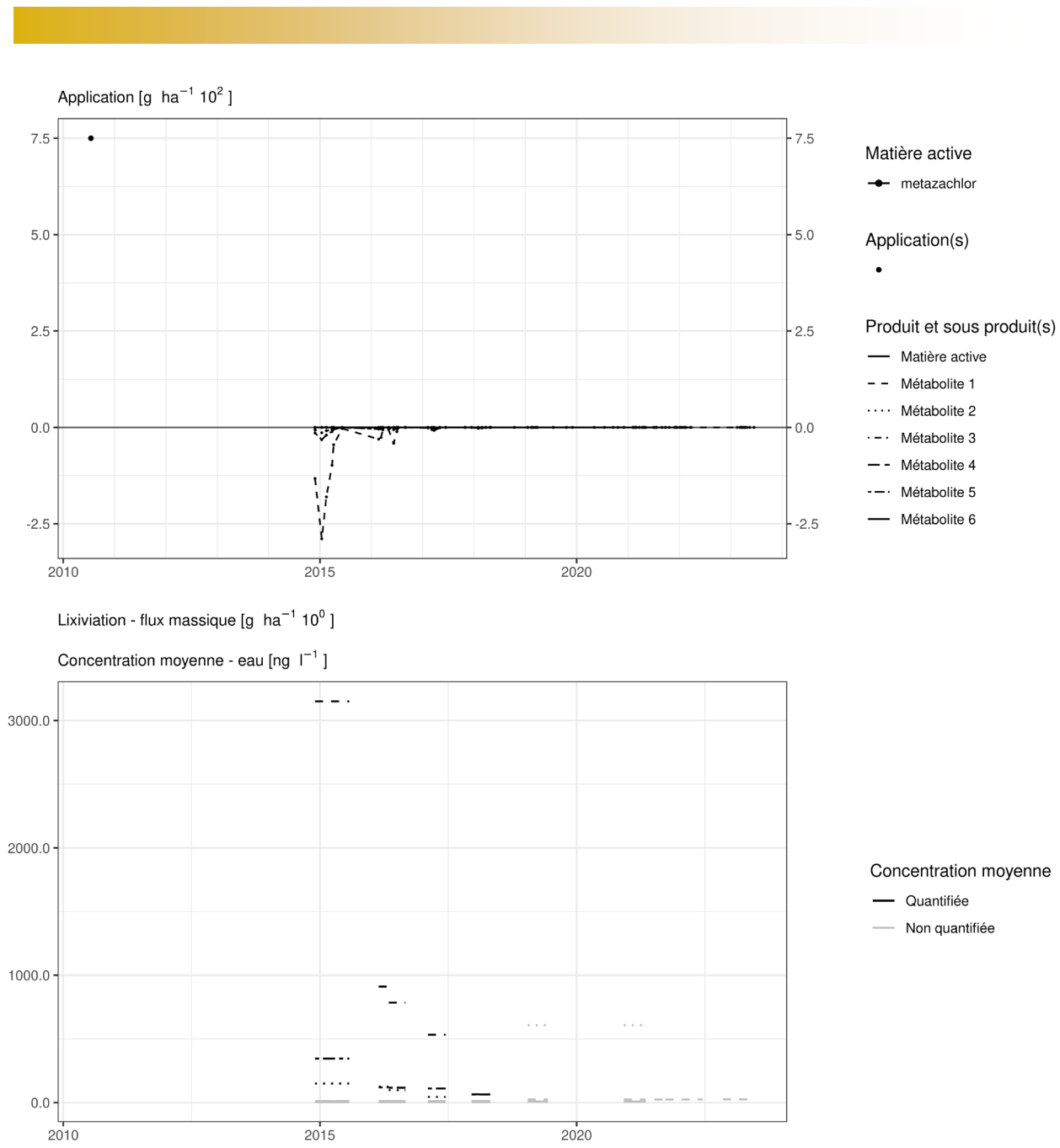
Plusieurs années après un traitement, les observations suivantes peuvent être faites :

- sur la parcelle Bovenistier (figure 132), une application de 750 g/ha en 2010 n'a pas été décelée dans les analyses de sol réalisées à partir de 2016 ;
- sur les parcelles Sol-Résidus (figures 135 et 136), une application de 800 g/ha en 2008 n'a pas été décelée dans les analyses de sols réalisées à partir de 2018 ;
- sur les parcelles Sole 4 et Chemin de fer, des traitements antérieurs à 2010 ne sont pas détectés dans le sol.

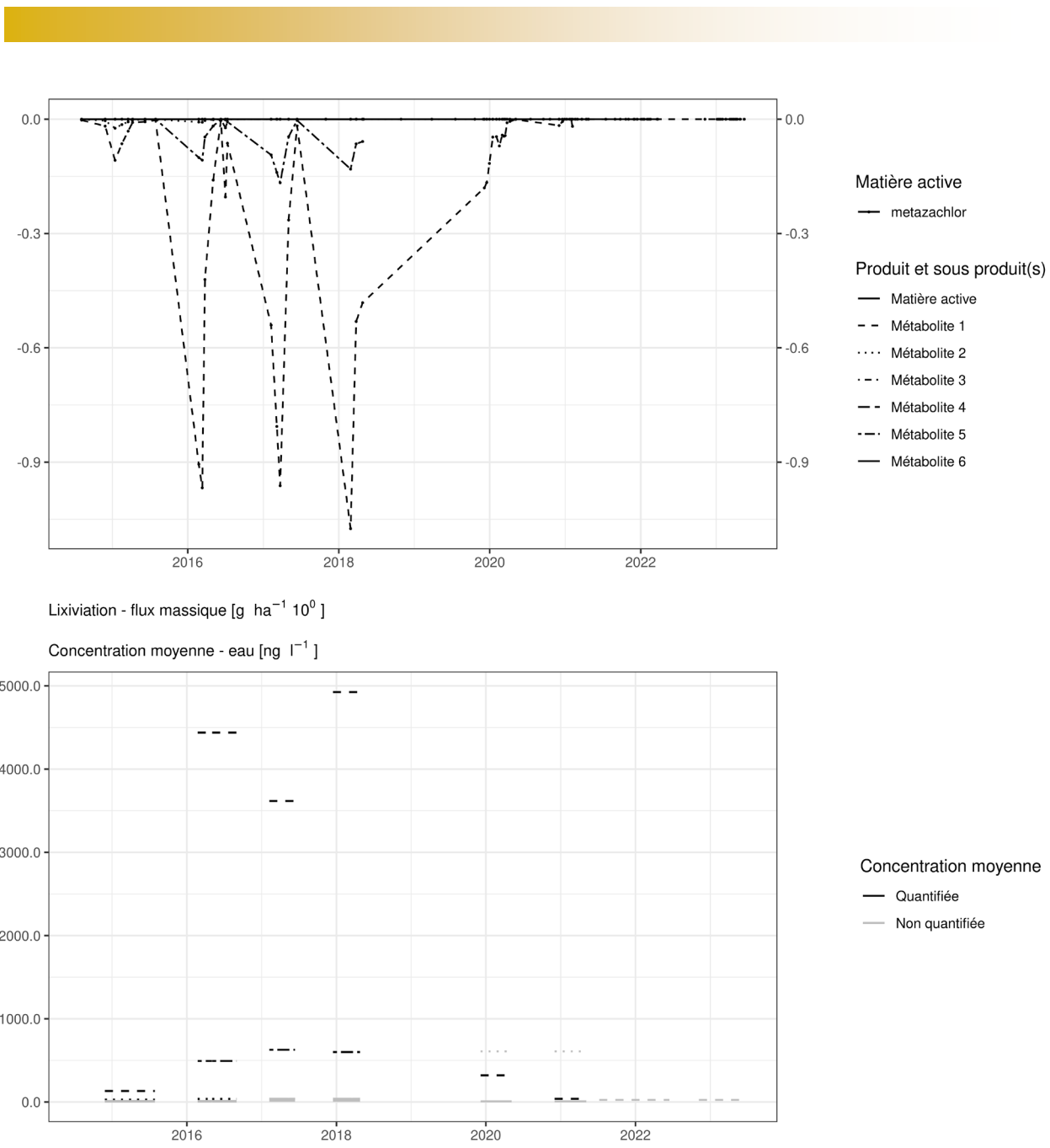
### **EAU**

Les métabolites du metazachlore sont observés à l'exutoire des lysimètres jusqu'à cinq ans après le traitement (Bovenistier) et quinze ans après le traitement (Sol-Résidus).

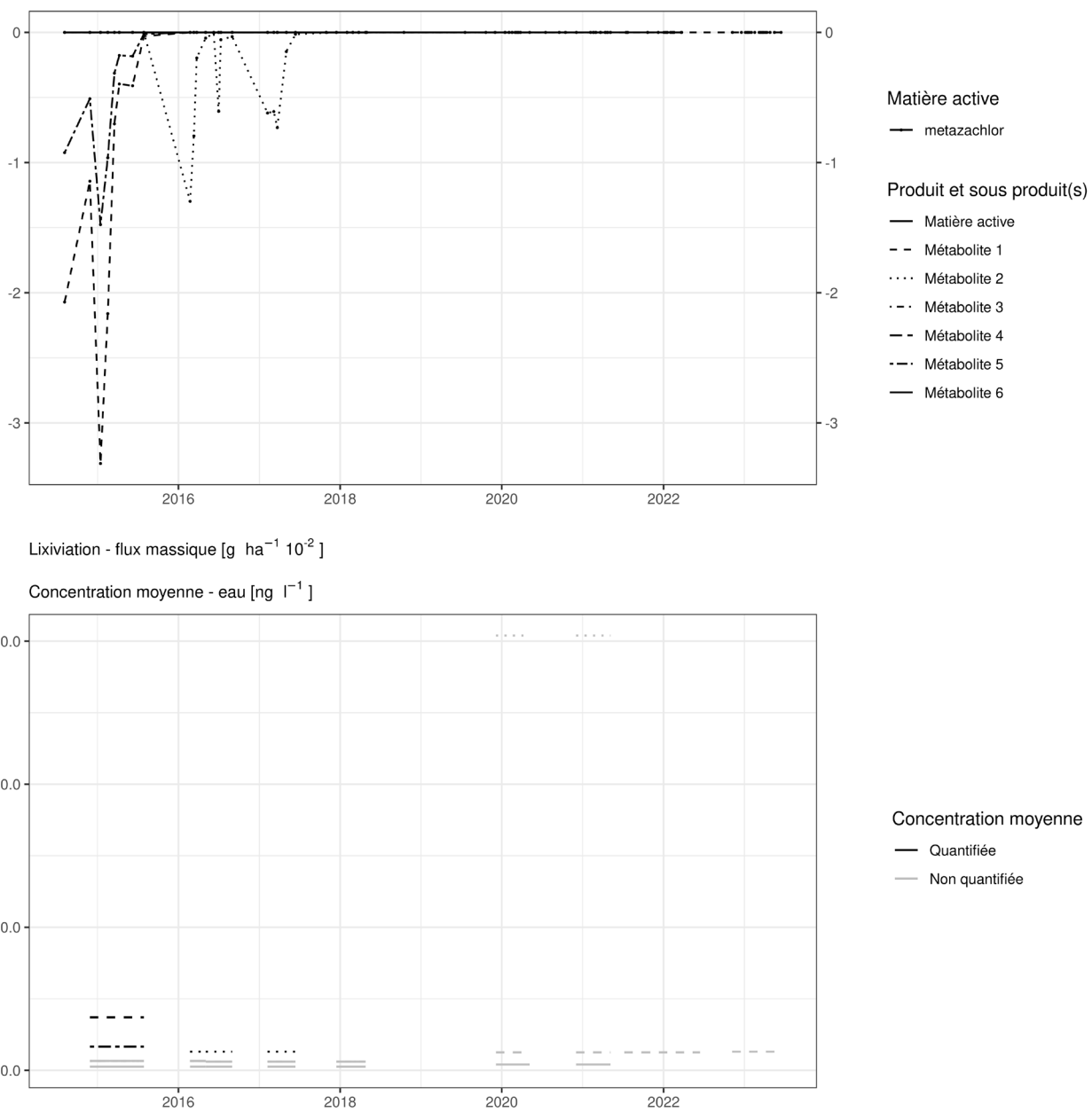
Pour les parcelles Sole 4 (figure 133) et Chemin de fer (figure 134), aucun traitement de metazachlore n'est renseigné depuis 2010. Compte tenu des autorisations d'usages actuelles, sur ces deux parcelles, aucune culture susceptible d'être traitée avec cette matière active n'a été emblavée depuis 2002. Les flux de métabolites observés jusqu'en 2021 et 2017 à l'exutoire de ces deux lysimètres devraient donc être la conséquence d'un (ou plusieurs) traitement antérieur à 2002.



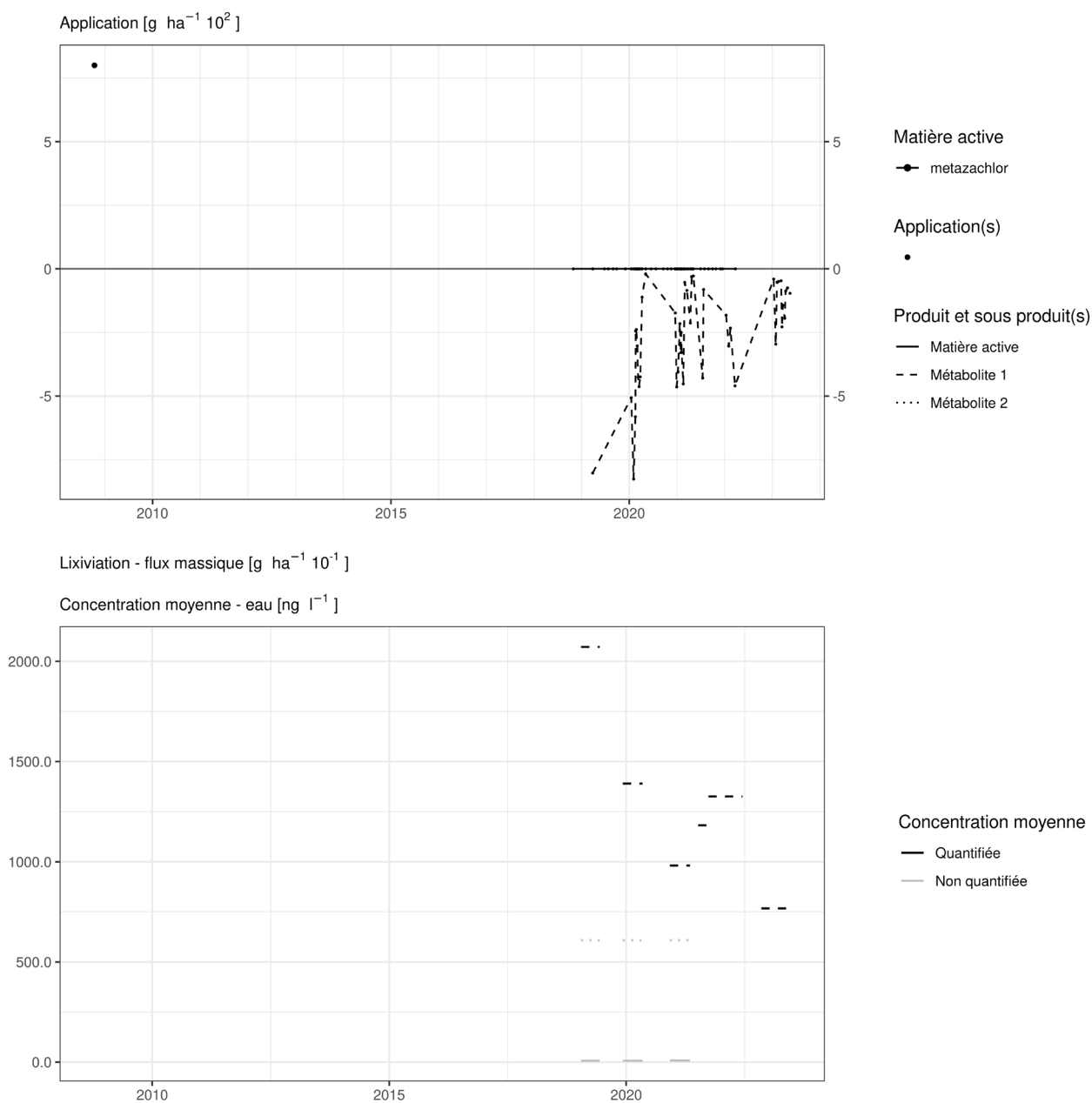
**Figure 132. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle Bovenistier.**



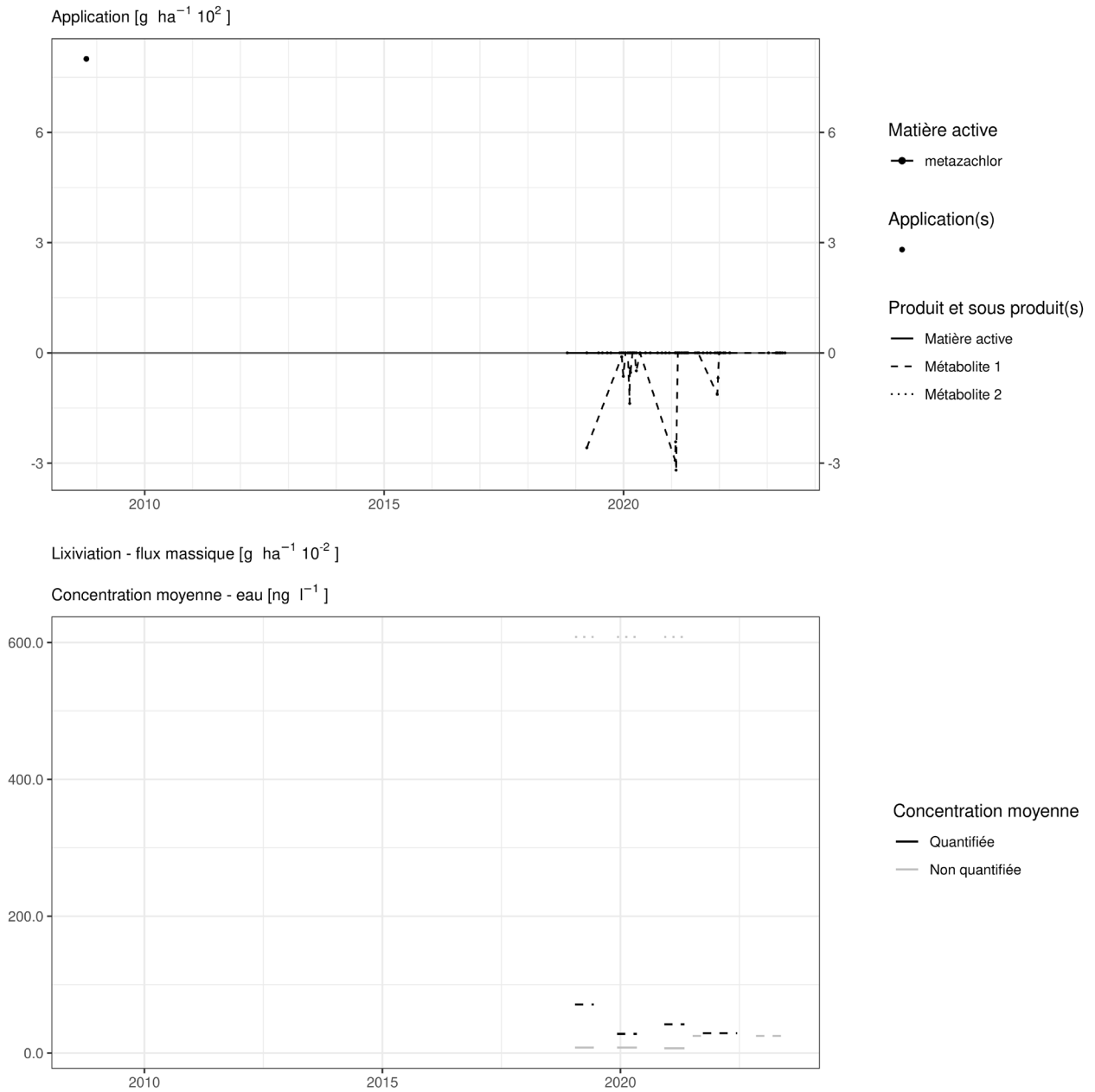
**Figure 133. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle Sole 4.**



**Figure 134. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle Chemin de fer.**



**Figure 135. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle SR8.**



**Figure 136. Applications et suivi de la teneur en metazachlore dans la parcelle SR12.**

## 4.26. Metolachlore

Le metolachlore est un herbicide essentiellement utilisé sur culture de betterave, chicorée, haricot ou fève des marais dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après le traitement, les observations (figures 137 à 144) sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport de près de 150 g/ha au printemps 2020 est décelé dans le même ordre de grandeur dans le sol. Un constat identique est également observé au printemps 2022 ;
- sur la parcelle Chemin de fer, un apport de 700 g/ha au printemps 2022 engendre une augmentation de concentration dans le sol similaire à l'apport ;
- sur la parcelle Sole 4, un apport d'un peu plus de 450 g/ha réalisé au printemps 2022 engendre une concentration dans le sol d'un peu moins de 300 g/ha.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, l'apport de près de 150 g/ha en juin 2020 laisse une quarantaine de grammes par hectare de résidu en septembre. Un constat identique est également observé en 2022 ;
- sur la parcelle Bovenistier, un apport d'environ 650 g/ha réalisé en juillet 2018 conduit à une concentration de l'ordre de 350 g/ha en octobre de la même année et un apport de 370 g/ha en juin 2019 conduit à une concentration d'une soixantaine de grammes par hectare en octobre de la même année ;
- sur la parcelle Chemin de fer, un apport de 700 g/ha réalisé au printemps 2022 conduit à une concentration de l'ordre de 50 g/ha début 2023 ;
- sur la parcelle Sole 4, un apport réalisé fin avril 2019 (un peu plus de 750 g/ha) conduit à une concentration d'une quarantaine de grammes par hectare en juillet de la même année. Un constat similaire est fait pour le traitement réalisé au printemps 2022.

A plus long terme (environ trois ans après l'apport), la concentration résiduelle dans le sol n'excède pas la dizaine de gramme par hectare (Chemin de fer, Bovenistier, Sole 4).

Dans les parcelles Sol-Résidus, un traitement réalisé en 2006 n'est pas observé (à une exception près) dans les échantillons analysés depuis 2018.

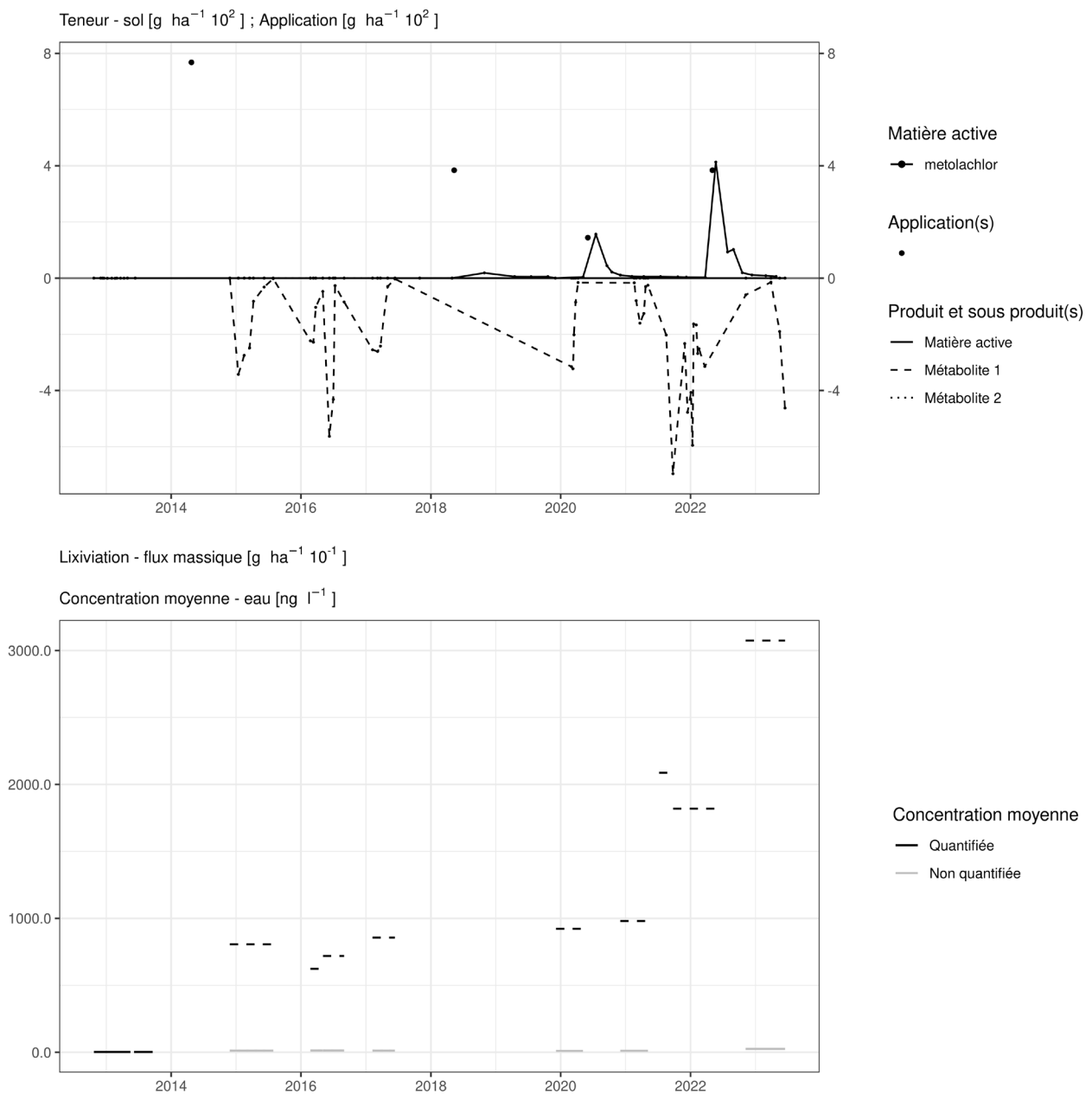
### **EAU**

Le métabolite ESA de cette matière active est régulièrement observé dans les échantillons d'eau collectés aux exutoires des lysimètres :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport de près de 800 g/ha réalisé au printemps 2014 va générer un flux de 3 g/ha au cours des trois années qui suivent ;
- sur la parcelle Chemin de fer, les trois apports réalisés en 2017 et 2018 (pour un total de près de 2000 g/ha) vont générer un flux d'environ 25 g/ha entre 2017 et 2022 ;
- sur la parcelle Sole 4, un apport d'un peu plus de 750 g/ha en 2019 va générer un flux d'environ 2 g/ha entre 2019 et 2022.

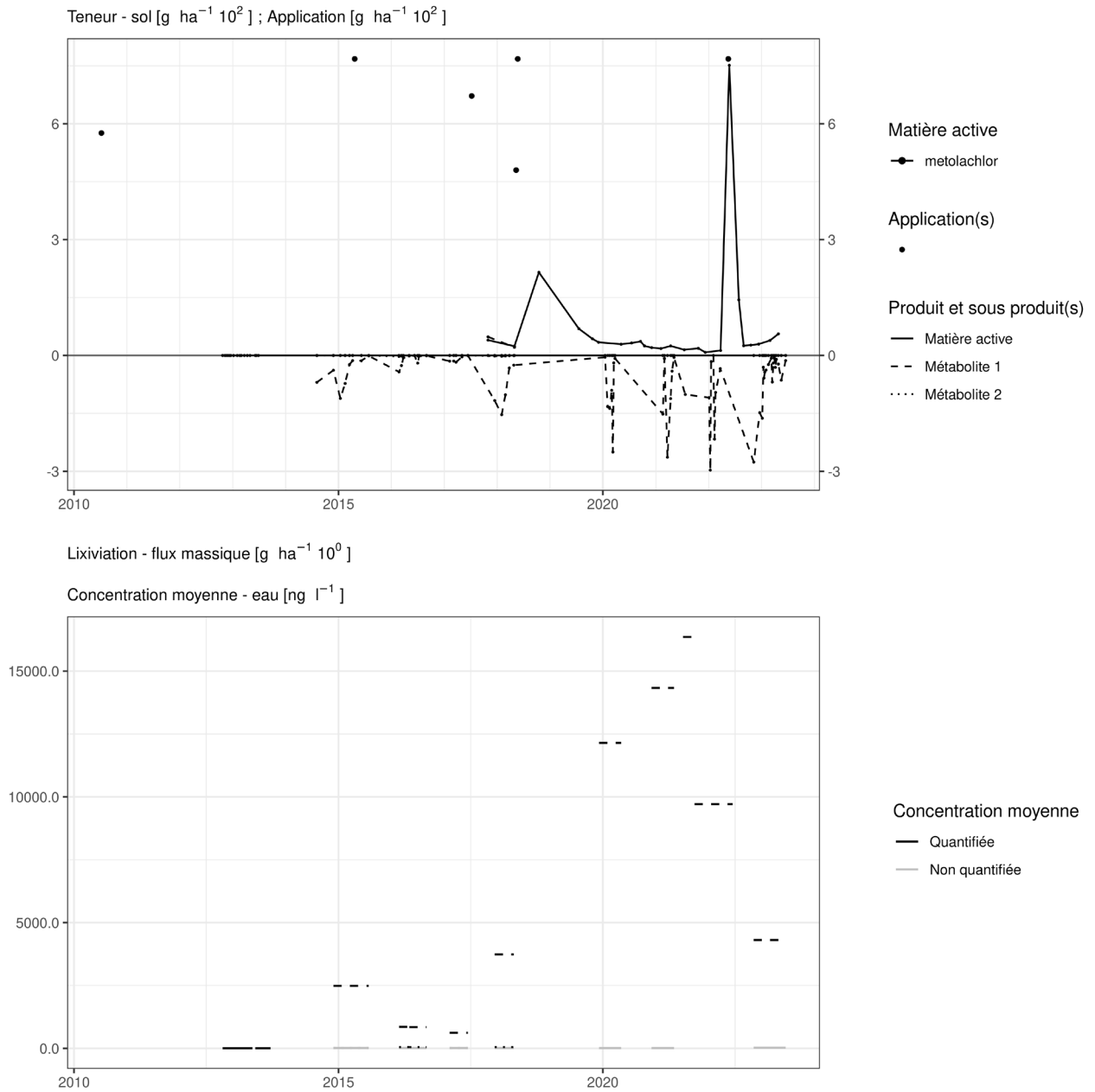
L'ordre de grandeur des flux du métabolite (de 0.1 à 1% de la quantité de matière active apportée) est nettement plus important que les ordres de grandeur de flux de matière active (de 0.0001% à 0.001% de la quantité de matière active apportée).

En termes de concentration moyenne, le métabolite est présent entre 300 et 15.000 ng/l lorsque les traitements sont « récents » (Hesbaye) Ces concentrations sont dépendantes des quantités apportées. Pour des traitements plus anciens (une quinzaine d'années sur Sol-Résidus), le métabolite affiche une concentration moyenne de l'ordre de quelques dizaines de ng/l.

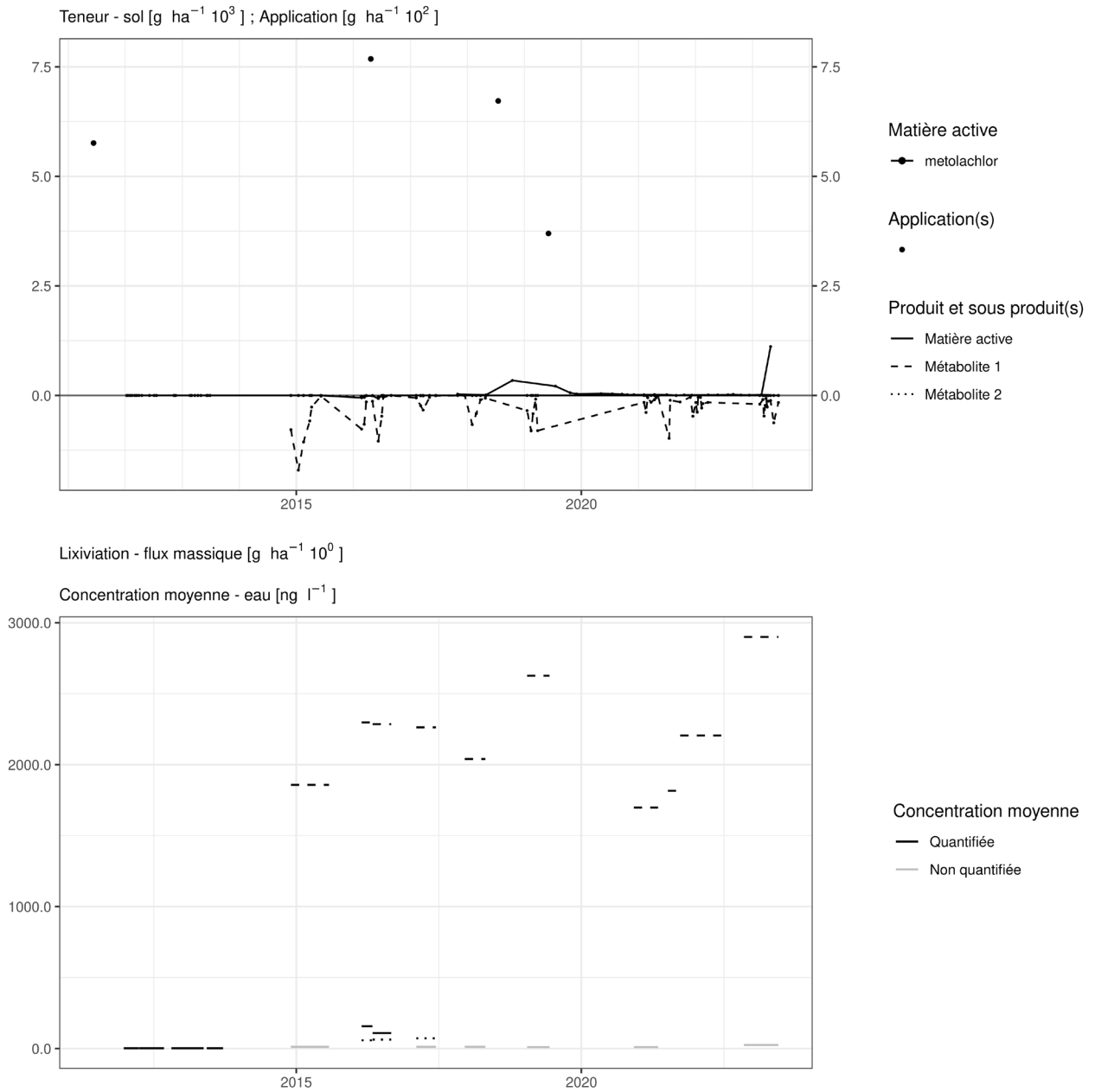


**Figure 137. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Haute Bova.**

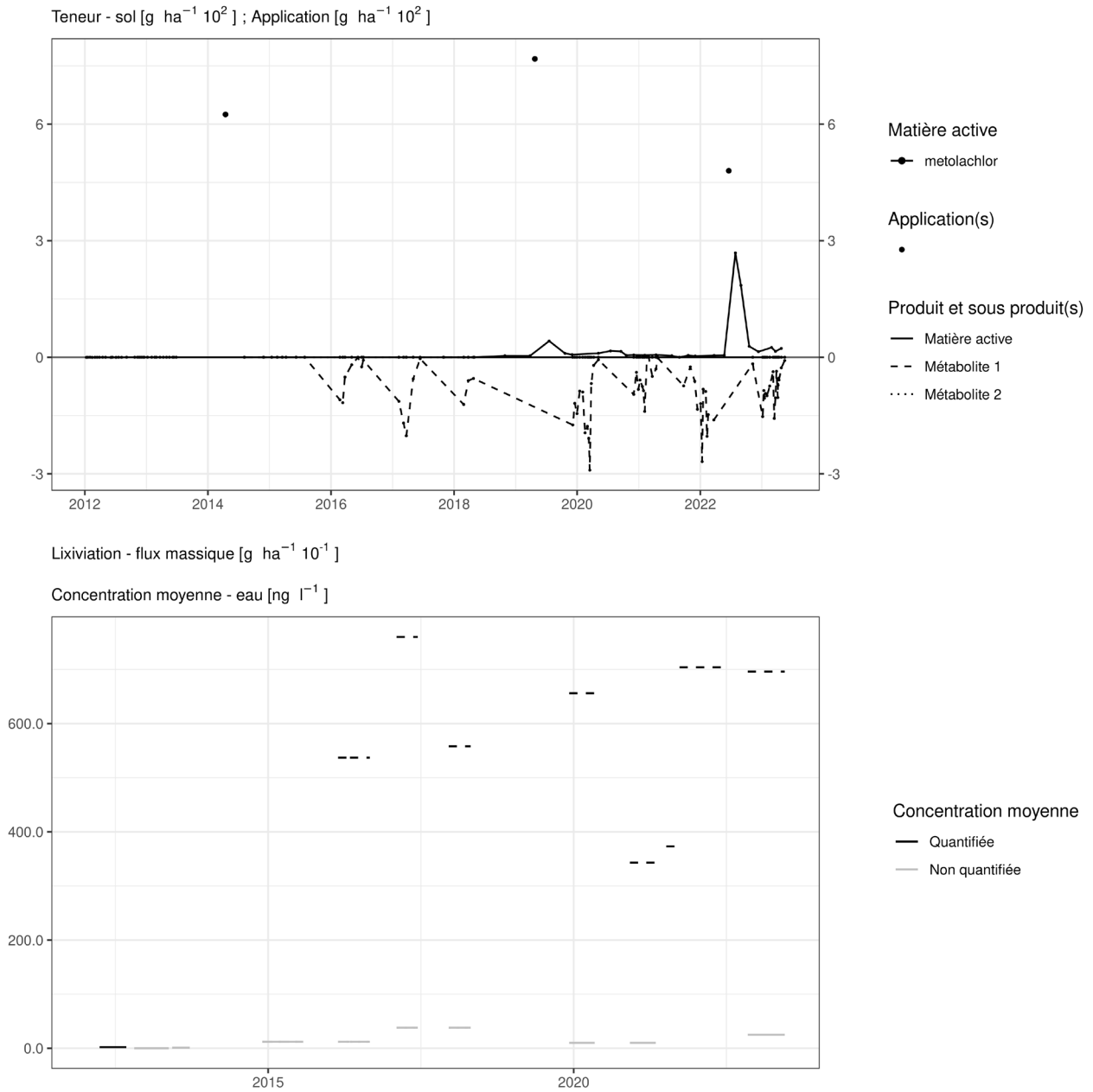




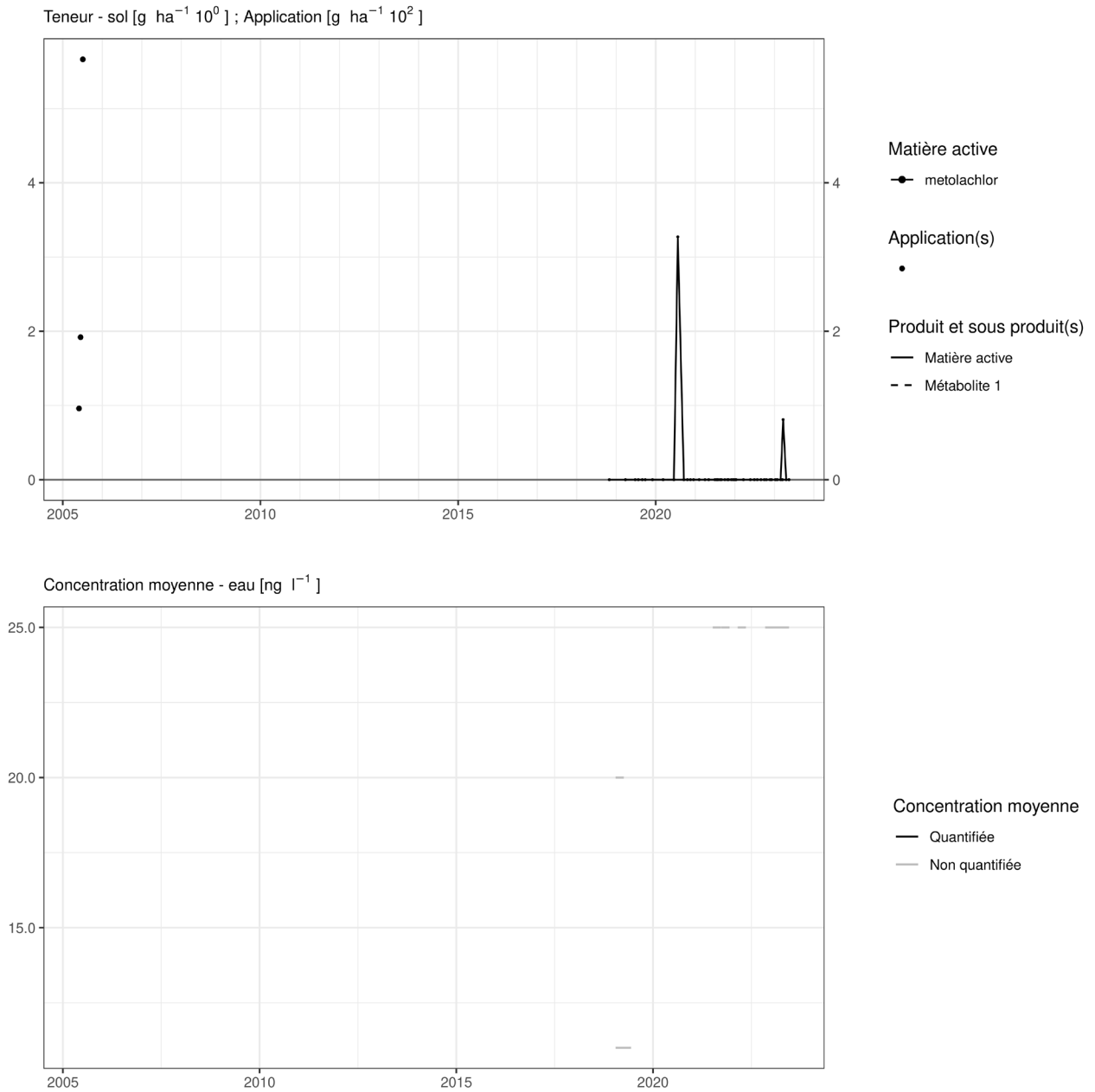
**Figure 138. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Chemin de fer.**



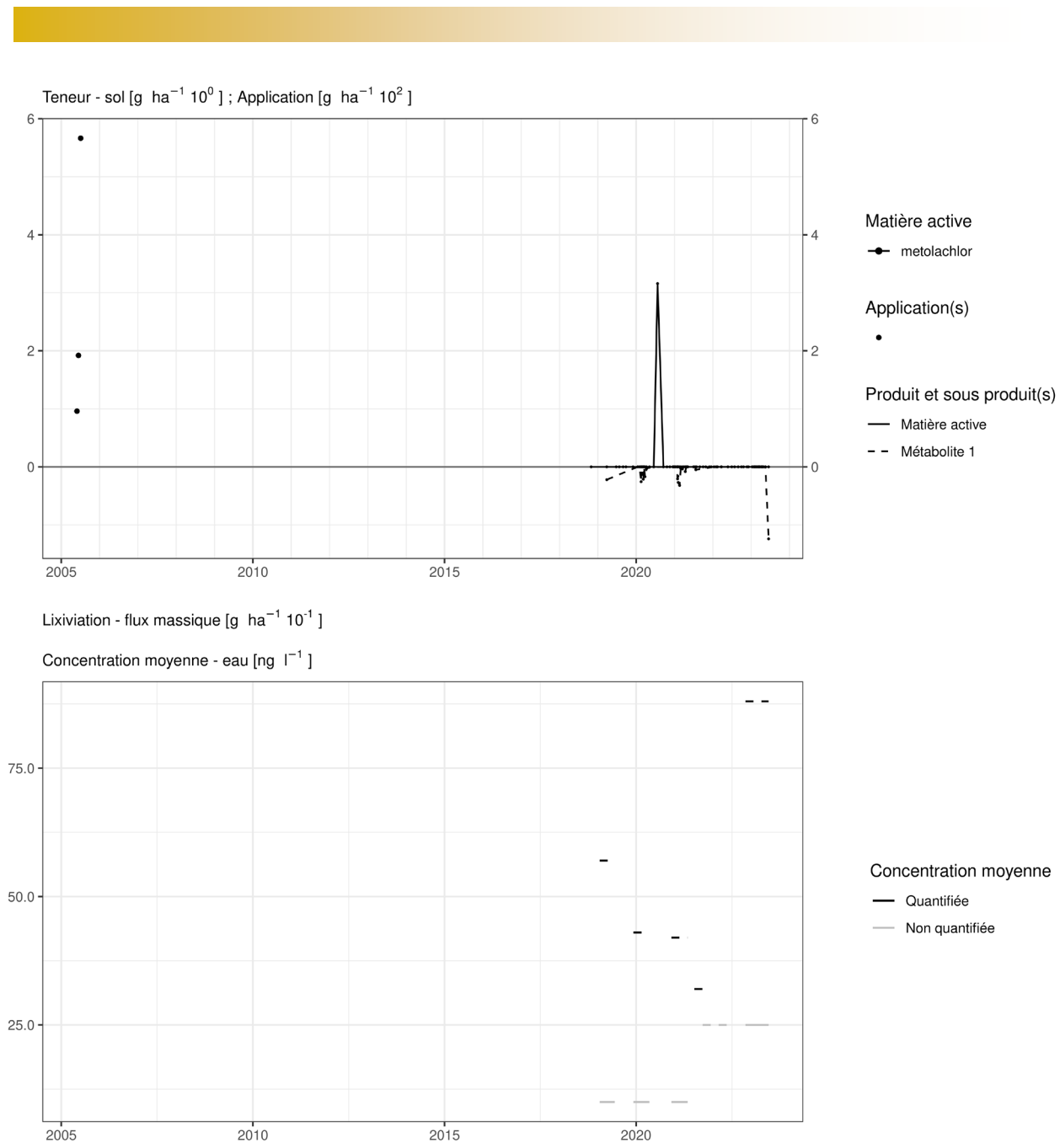
**Figure 139. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Bovenistier.**



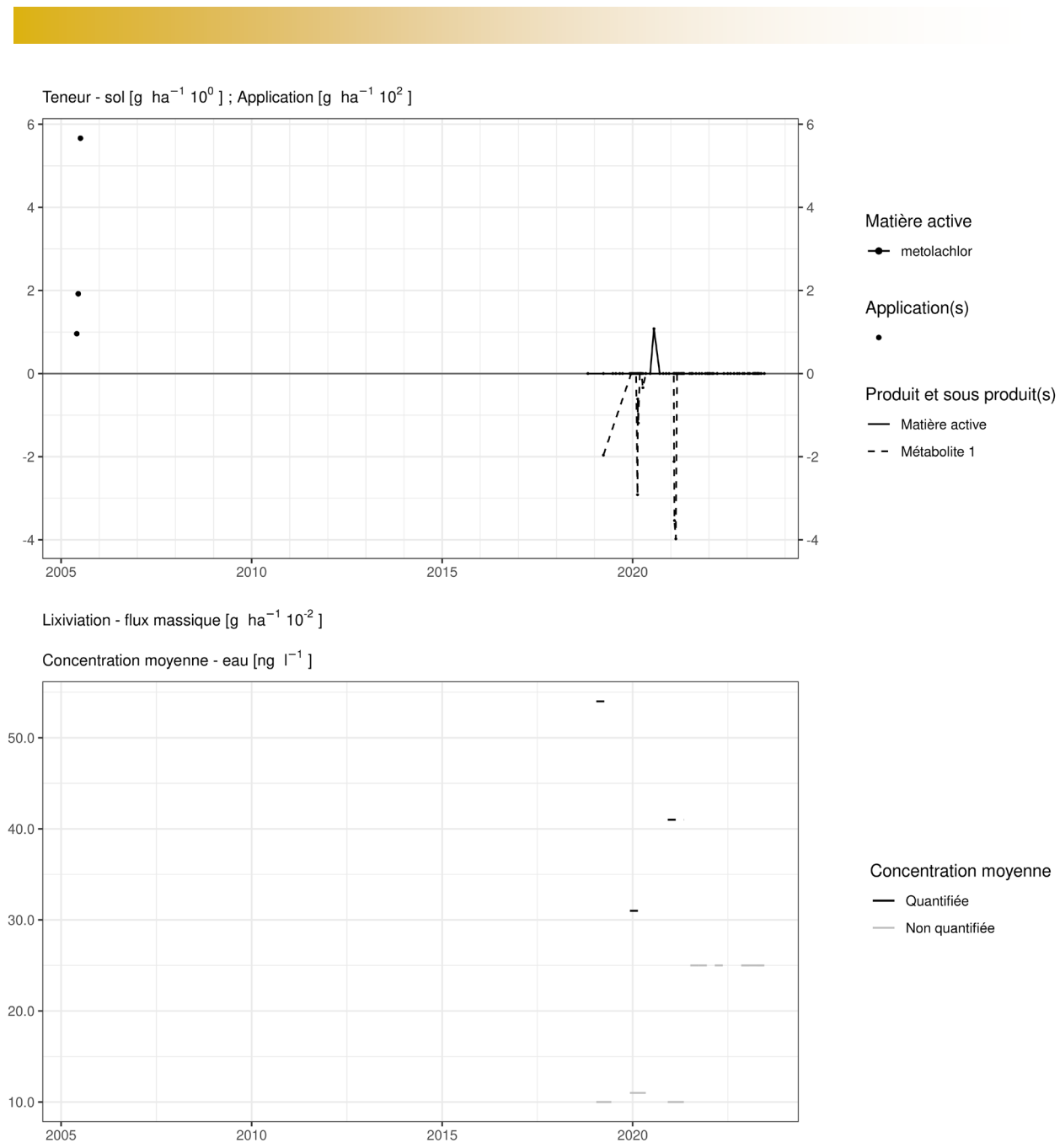
**Figure 140. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle Sole 4.**



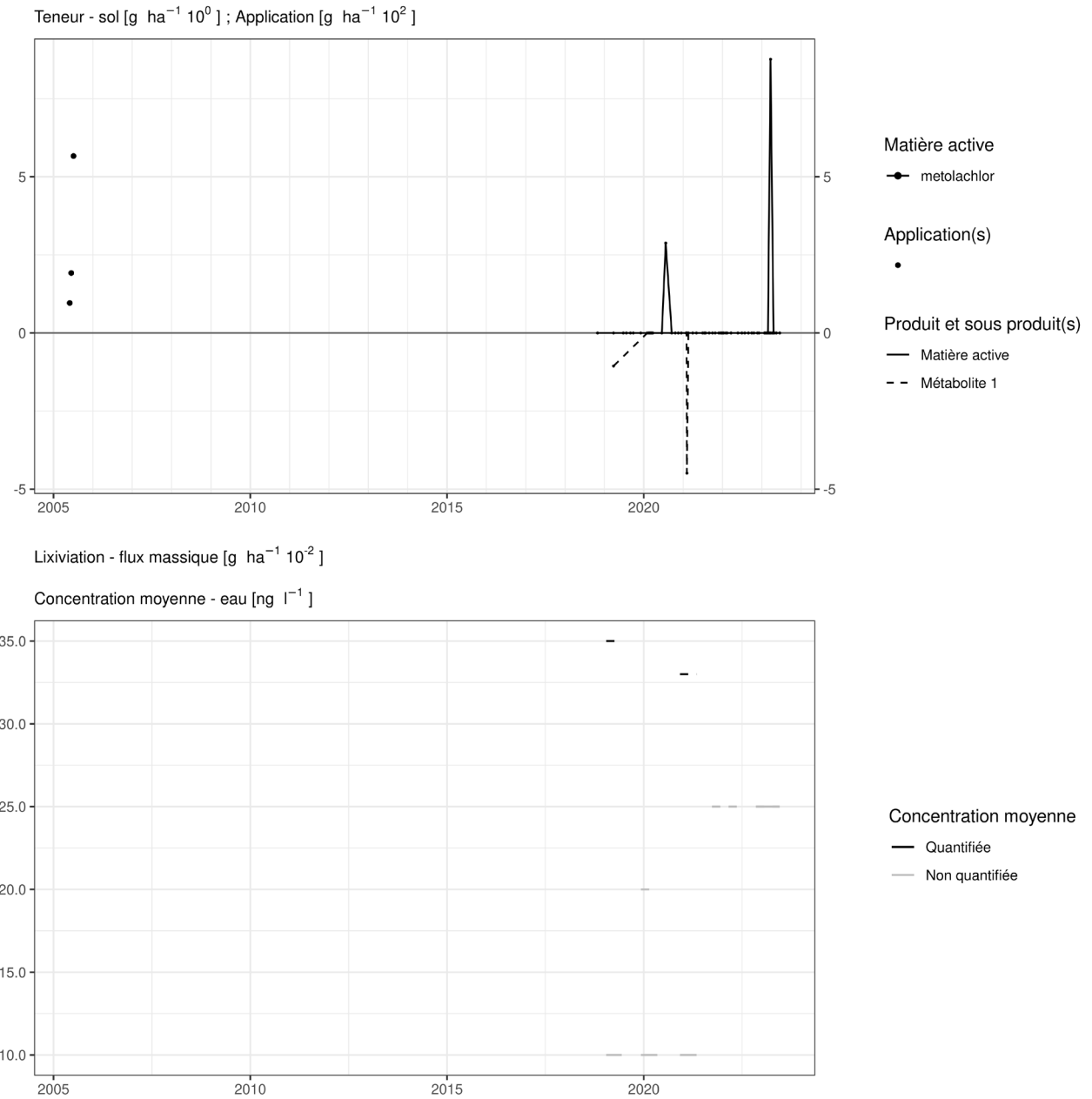
**Figure 141. Applications et suivi de la teneur en metolachlore et en metolachlore ESA (métabolite 1) dans la parcelle SR4.**



**Figure 142. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle SR8.**



**Figure 143. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle SR12.**



**Figure 144. Applications et suivi de la teneur en metolachlore, en metolachlore ESA (métabolite 1) et en metolachlore OA (métabolite 2) dans la parcelle SR16.**

## 4.27. Nicosulfuron

Le nicosulfuron est un herbicide appliqué sur culture de maïs dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Cette matière active a été appliquée à deux reprises sur les parcelles Sol-Résidus. Les autres parcelles n'ont jamais fait l'objet de ce traitement.

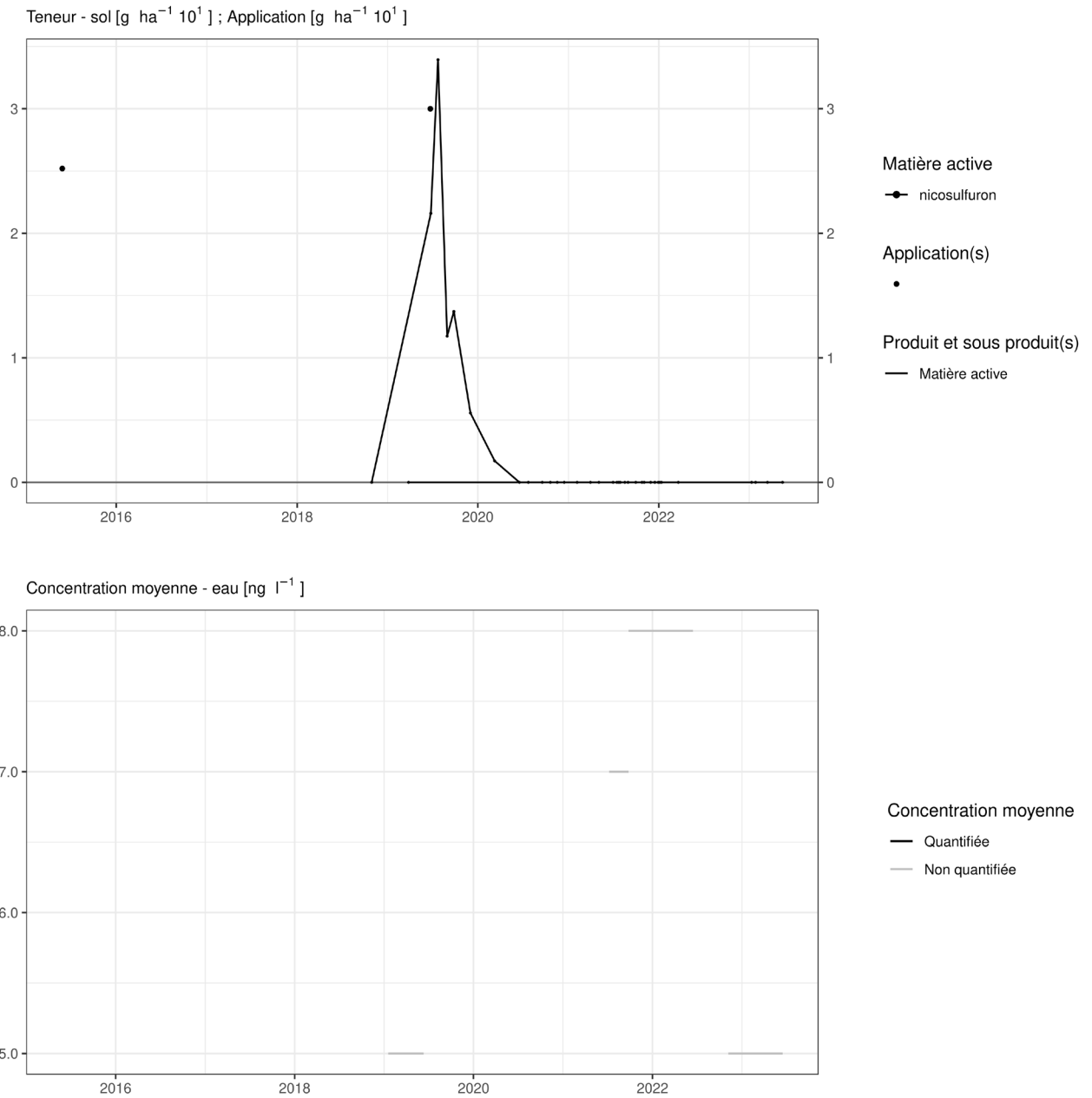
Les figures 145 à 148 illustrent que :

- quelques jours après l'application, cette matière active est retrouvée dans le sol en quantité équivalente à l'apport ;
- quelques semaines après l'application, elle n'est plus présente qu'à la moitié de la teneur initiale ;
- quelques mois après l'application, elle n'est quasiment plus décelée dans le sol ;
- à long terme (près de deux ans après l'application), elle n'est plus décelée dans le sol.

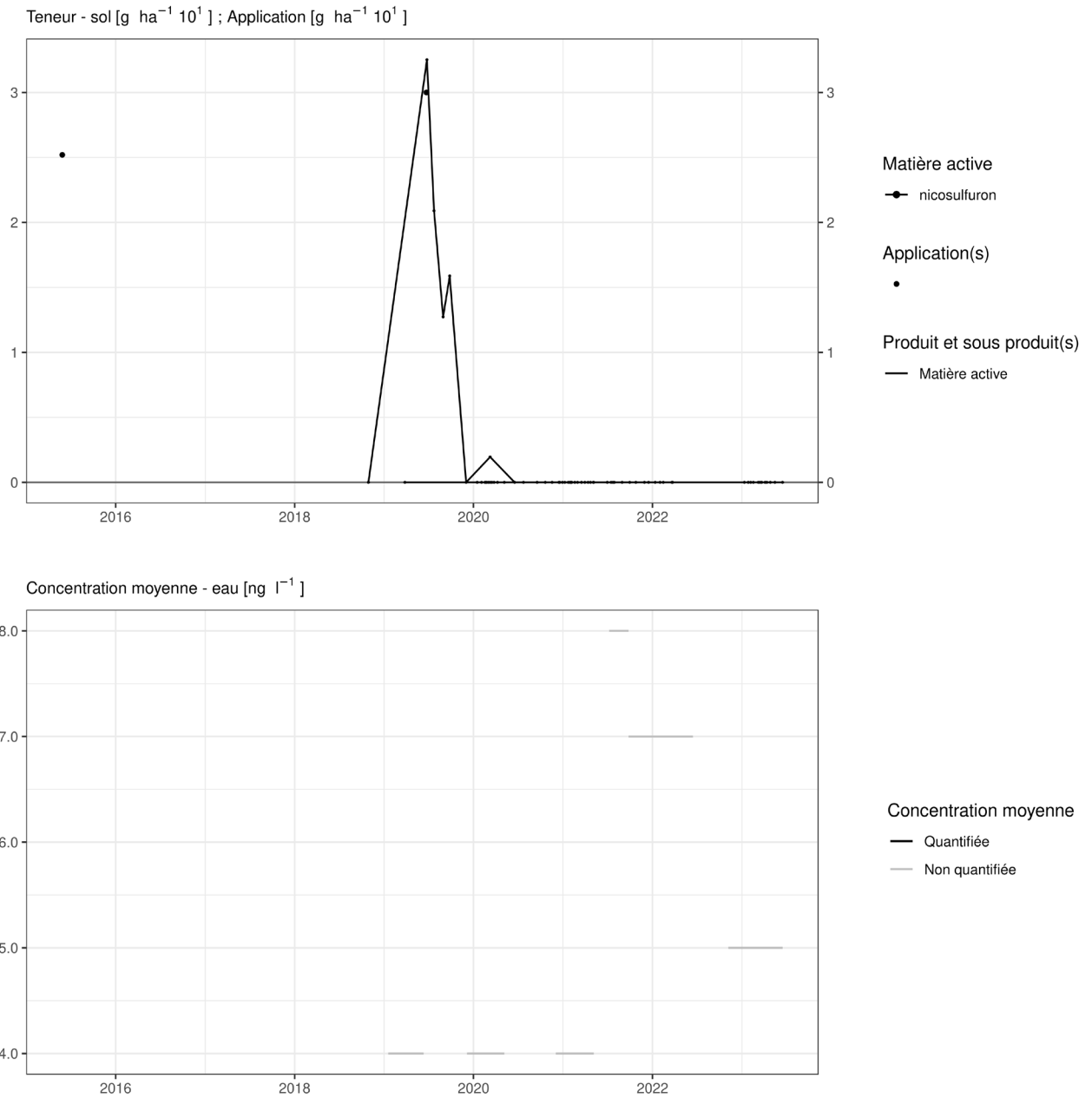
### **EAU**

Cette matière active a été détectée dans l'eau sans pouvoir être quantifiée.

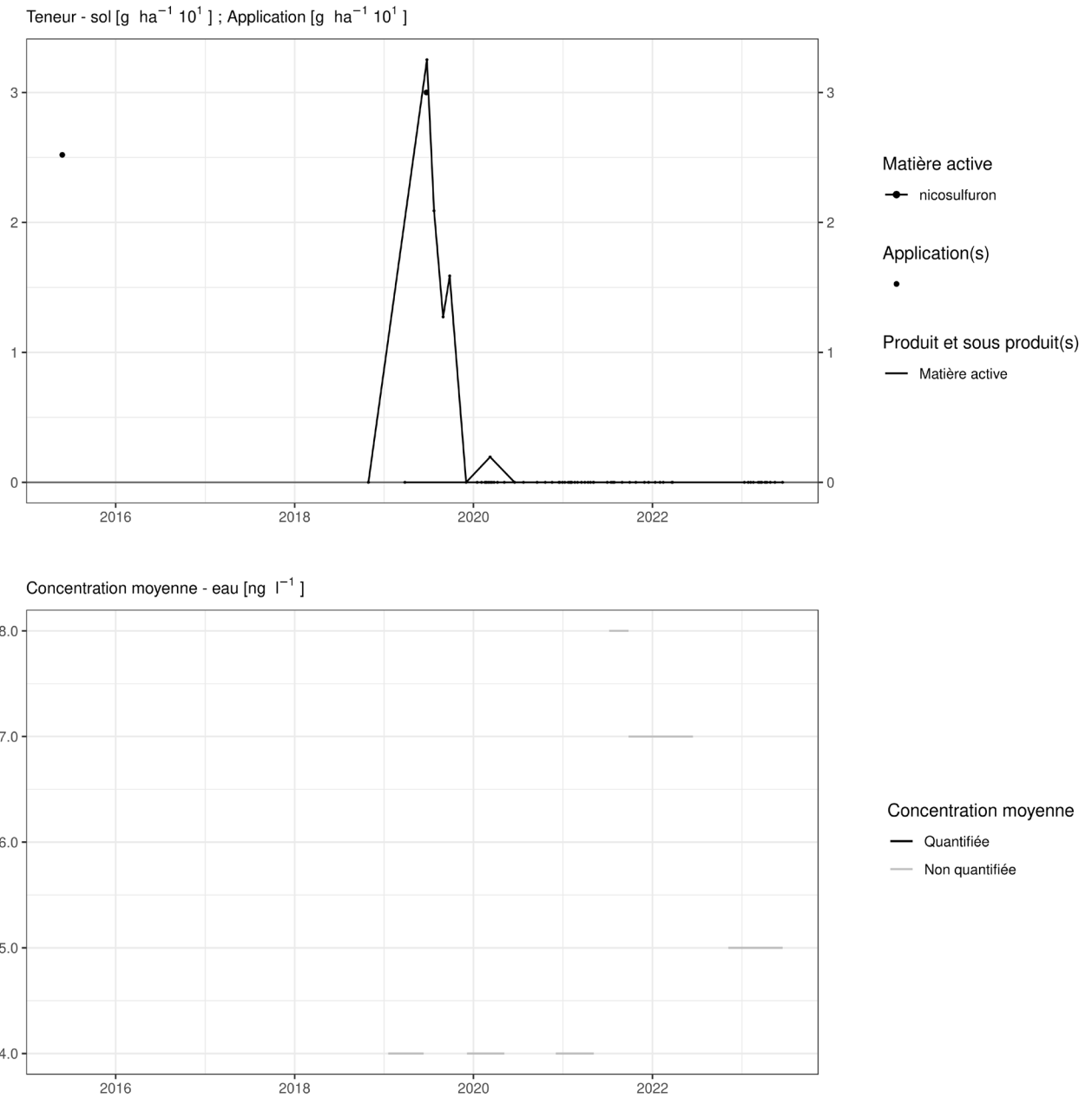




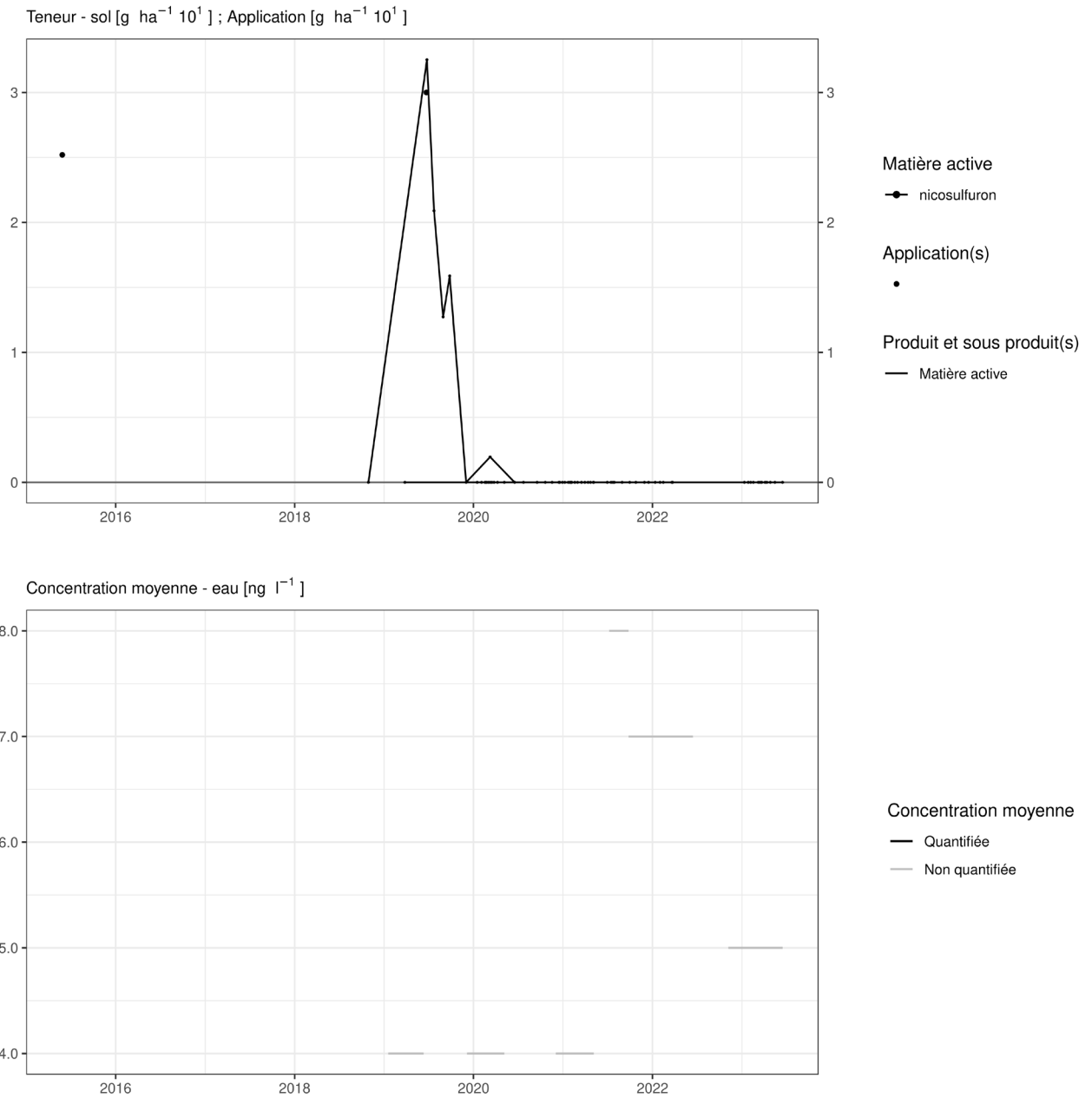
**Figure 145. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR4.**



**Figure 146. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR8.**



**Figure 147. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR12.**



**Figure 148. Applications et suivi de la teneur en nicosulfuron dans la parcelle SR16.**

## 4.28. Penflufen

Le penflufen est un fongicide utilisé sur culture de pomme de terre dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

Les observations réalisées sur la parcelle Bovenistier (figure 149) illustrent qu'un apport de 20 g/ha est décelé dans les mois et les années qui suivent l'application à hauteur de quelques grammes par hectare.

Cette matière active n'a jamais été quantifiée dans les échantillons d'eau.

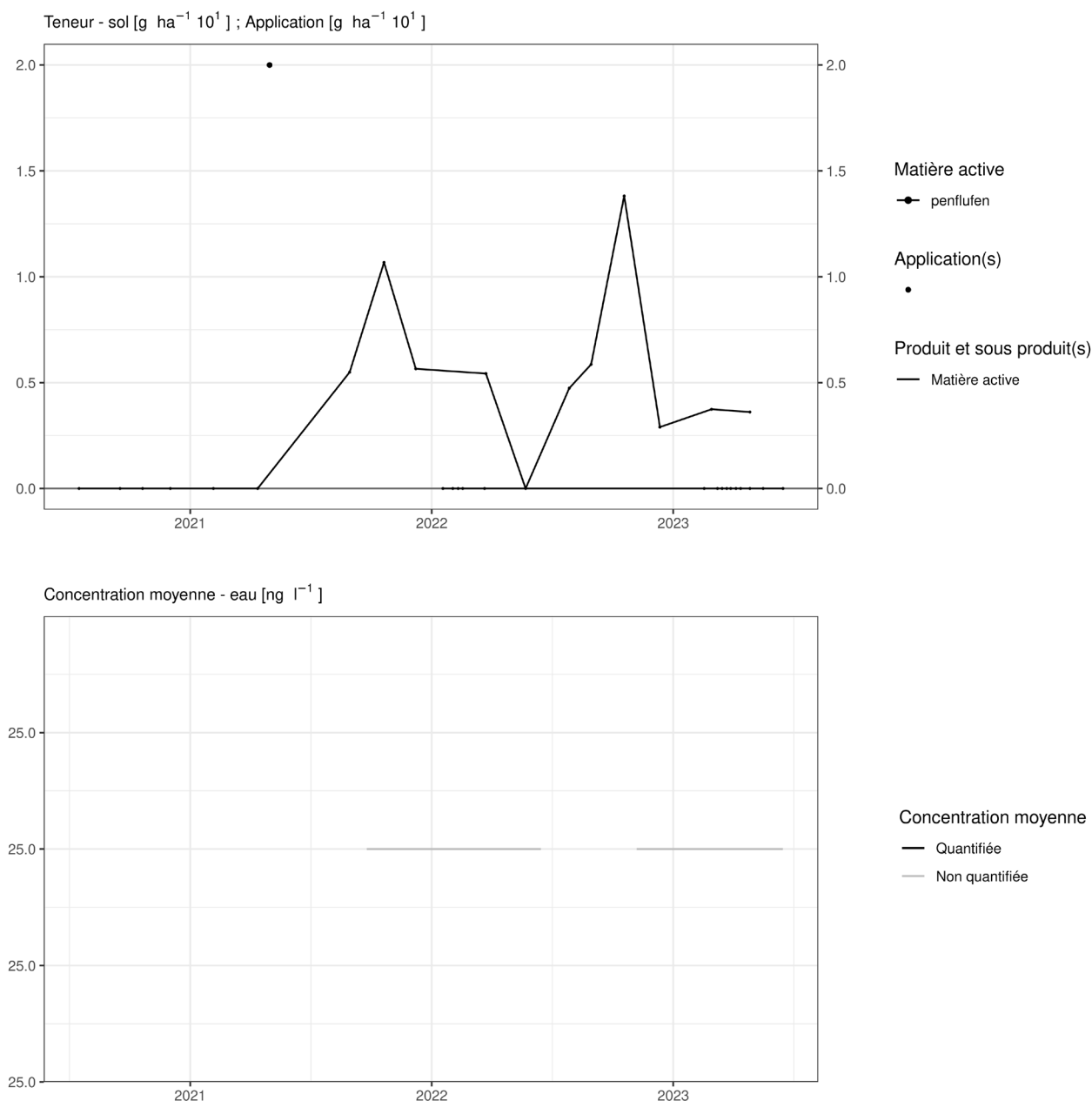


Figure 149. Applications et suivi de la teneur en penflufen dans la parcelle Bovenistier.

## 4.29. Phenmediphame

Le phenmediphame est un herbicide essentiellement utilisé sur culture de betterave dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Quelques semaines après un traitement, les observations (figures 150 à 157) sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, des apports réalisés au printemps 2022 (près de 300 g/ha) engendrent une concentration similaire dans le sol dans les jours qui suivent la fin des apports ;
- sur la parcelle Bovenistier, un apport d'environ 600 g/ha réalisé fin mai 2021 conduit en juillet à une concentration dans le sol de près de 65 g/ha ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport d'environ 550 g/ha réalisé fin mai 2021 conduit à une concentration dans le sol est de l'ordre d'une quinzaine de grammes par hectare.

Quelques mois après un traitement, les observations sont les suivantes :

- sur la parcelle Haute Bova, un apport d'environ 550 g/ha réalisé au printemps 2018 laisse une concentration dans le sol en automne 2019 de l'ordre de quelques grammes par hectare. Le constat est similaire pour les traitements réalisés au printemps 2022 ;
- sur la parcelle Chemin de fer, quatre apports totalisant environ 300 g/ha réalisés au printemps 2018 laissent, en automne, une concentration dans le sol de l'ordre d'une dizaine de grammes par hectare ;
- sur la parcelle Bovenistier, l'apport de printemps (environ 600 g/ha) est visible dans le sol à hauteur d'une dizaine de gramme par hectare à la fin de l'automne ;
- sur la parcelle Sole 4, l'apport de près de 250 g/ha réalisé en été 2019 conduit à une concentration d'une dizaine de grammes par hectare fin d'automne de la même année ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, le traitement (environ 550 g/ha) réalisé au printemps 2021 a laissé une concentration de l'ordre de quelques grammes par hectare à l'automne de la même année.

Dans les deux années qui suivent un apport de cette matière active, la concentration dans le sol est décroissante avec une certaine variabilité (les « pics » observés, compte tenu de l'ordre de grandeur de la mesure (quelques grammes par hectare) sont imputables à l'imprécision liée à l'échantillonnage).

A plus long terme (plus de trois ans après l'apport), la matière active n'est (quasiment) plus décelée dans le sol (Haute Bova 2018, Chemin de fer 2018, Bovenistier 2016, Sol-Résidus 2017).

### **EAU**

L'analyse de cette matière active n'est pas suffisamment au point que pour discuter des flux et concentration dans l'eau.

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]

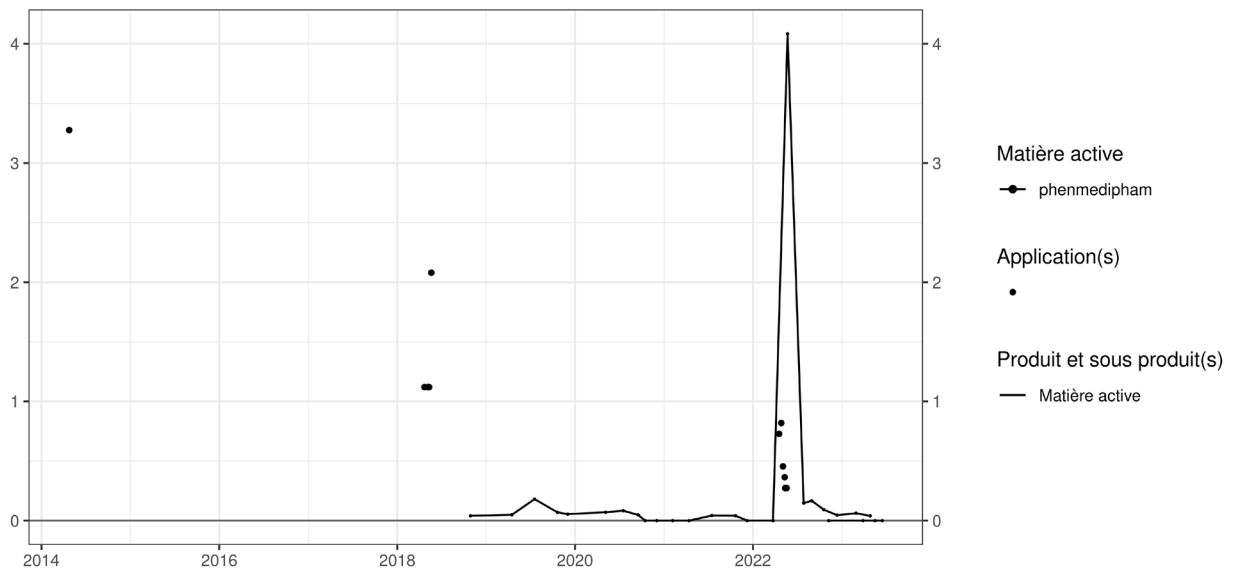


Figure 150. Applications et suivi de la teneur en phenmedipham dans la parcelle Haute Bova.

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup>] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]

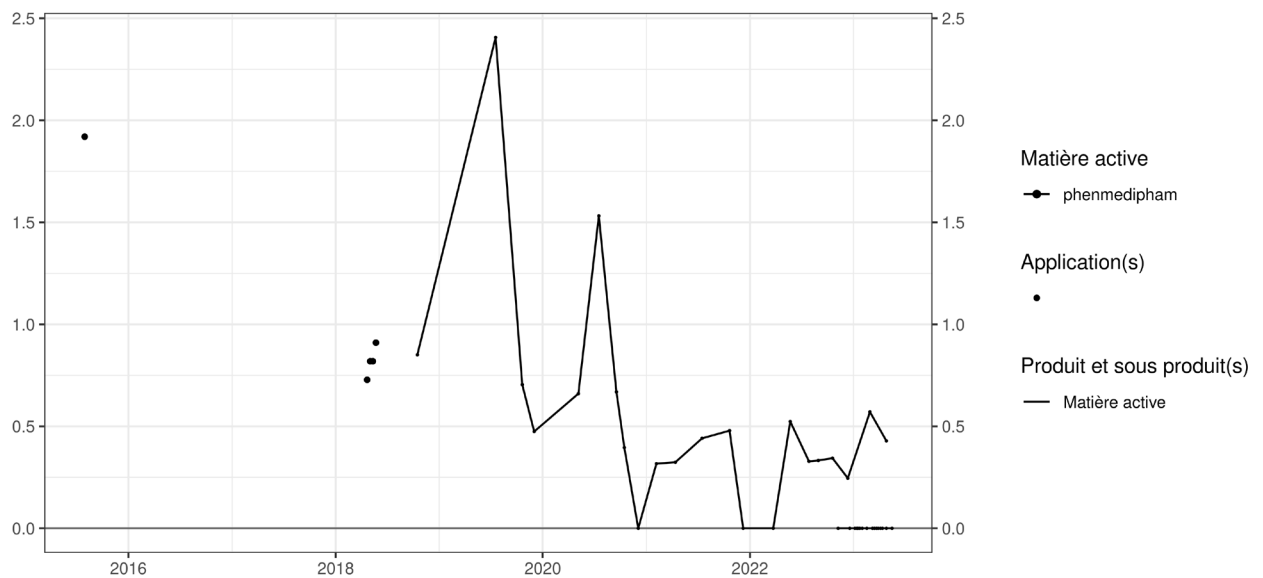


Figure 151. Applications et suivi de la teneur en phenmedipham dans la parcelle Chemin de fer.

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup> ] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup> ]

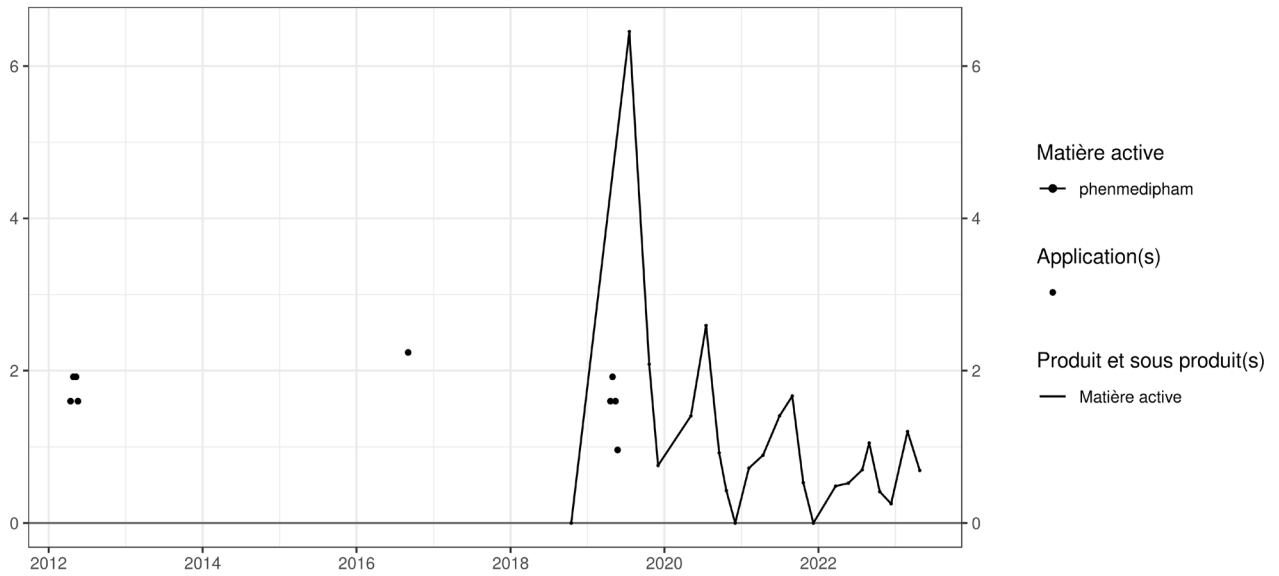


Figure 152. Applications et suivi de la teneur en phenmedipham dans la parcelle Bovenistier.

Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>1</sup> ] ; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup> ]

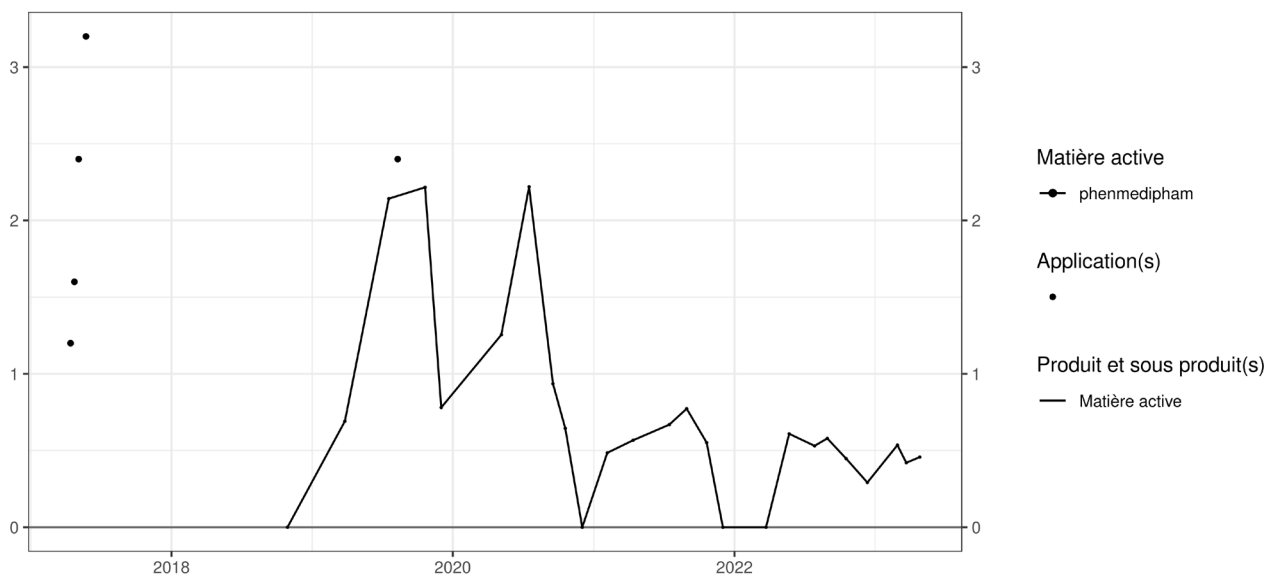


Figure 153. Applications et suivi de la teneur en phenmedipham dans la parcelle Sole 4.



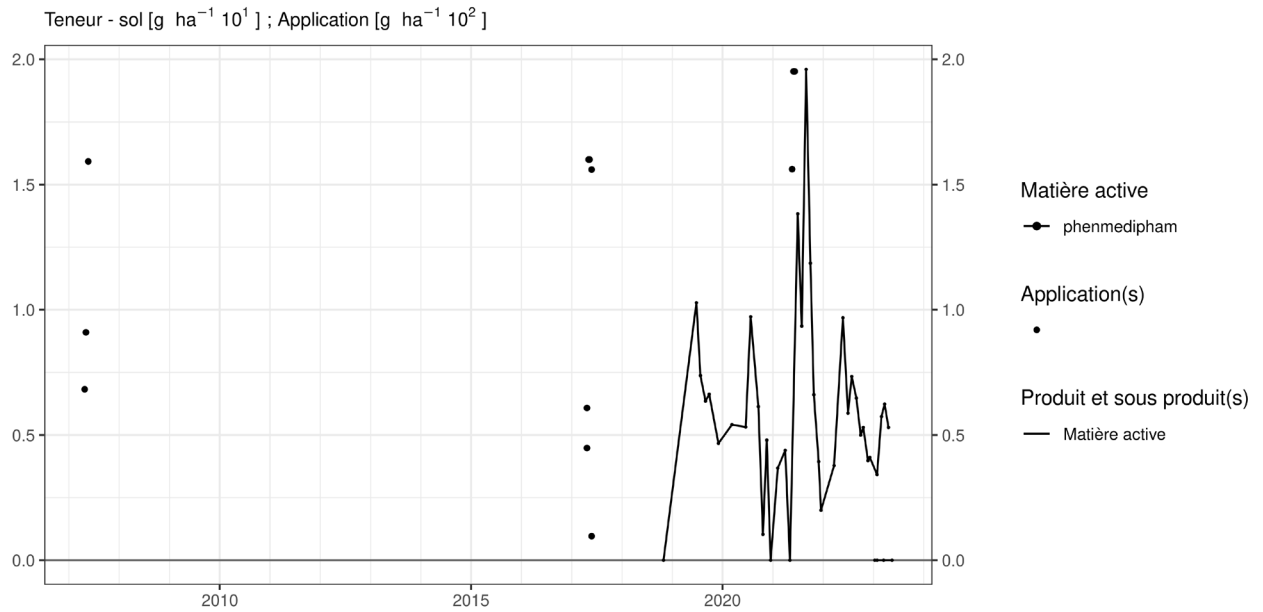


Figure 154. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle SR4.

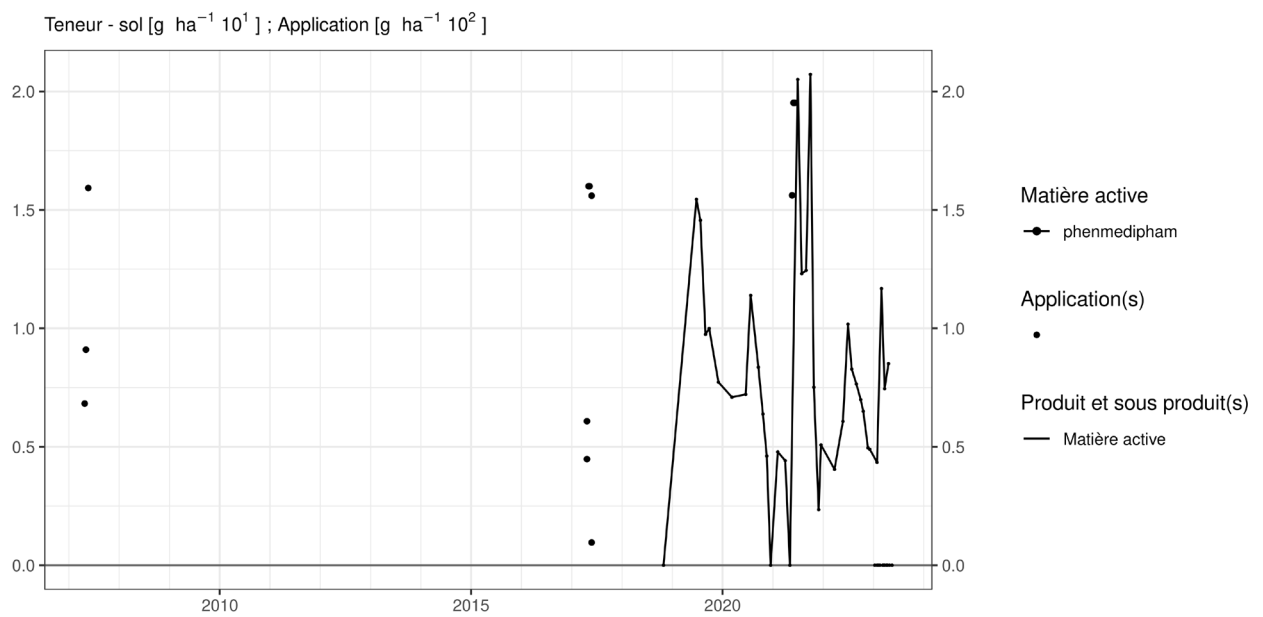


Figure 155. Applications et suivi de la teneur en phenmediphame dans la parcelle SR8.



## 4.30. Propiconazole

Le propiconazole est un fongicide utilisé sur culture de froment ou de betterave dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

### **SOL**

Les observations réalisées sur la parcelle Sole 4 (figure 158) sont difficilement interprétables dans les semaines qui suivent le traitement car nous ne disposons pas du suivi dans le sol avant le premier traitement (printemps 2016).

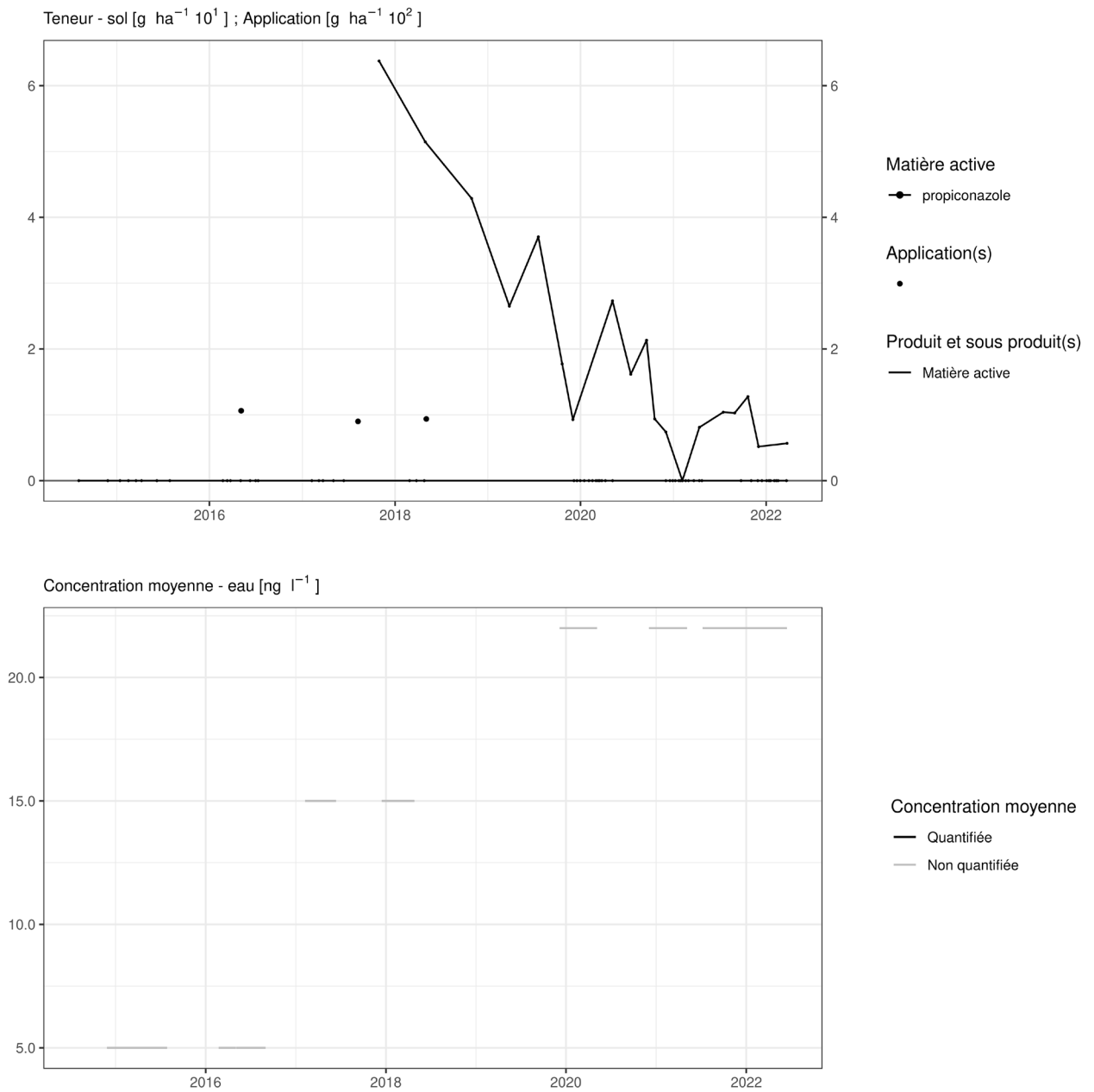
Plusieurs années après un traitement, les observations (figures 158 à 163) sont les suivantes :

- sur la parcelle Sole 4, trois apports, d'environ 100 g/ha chacun, réalisés entre 2016 et 2018 conduisent à une concentration dans le sol de l'ordre de 5 g/ha trois ans après le traitement ;
- sur les parcelles Sol-Résidus, un apport d'environ 100 g/ha réalisé en 2017 n'est plus observé dans le sol cinq ans après le traitement ;
- sur Bovenistier, un apport réalisé en 2012 ne révèle aucun résidu dans le sol à partir de 2018 (début des analyses).

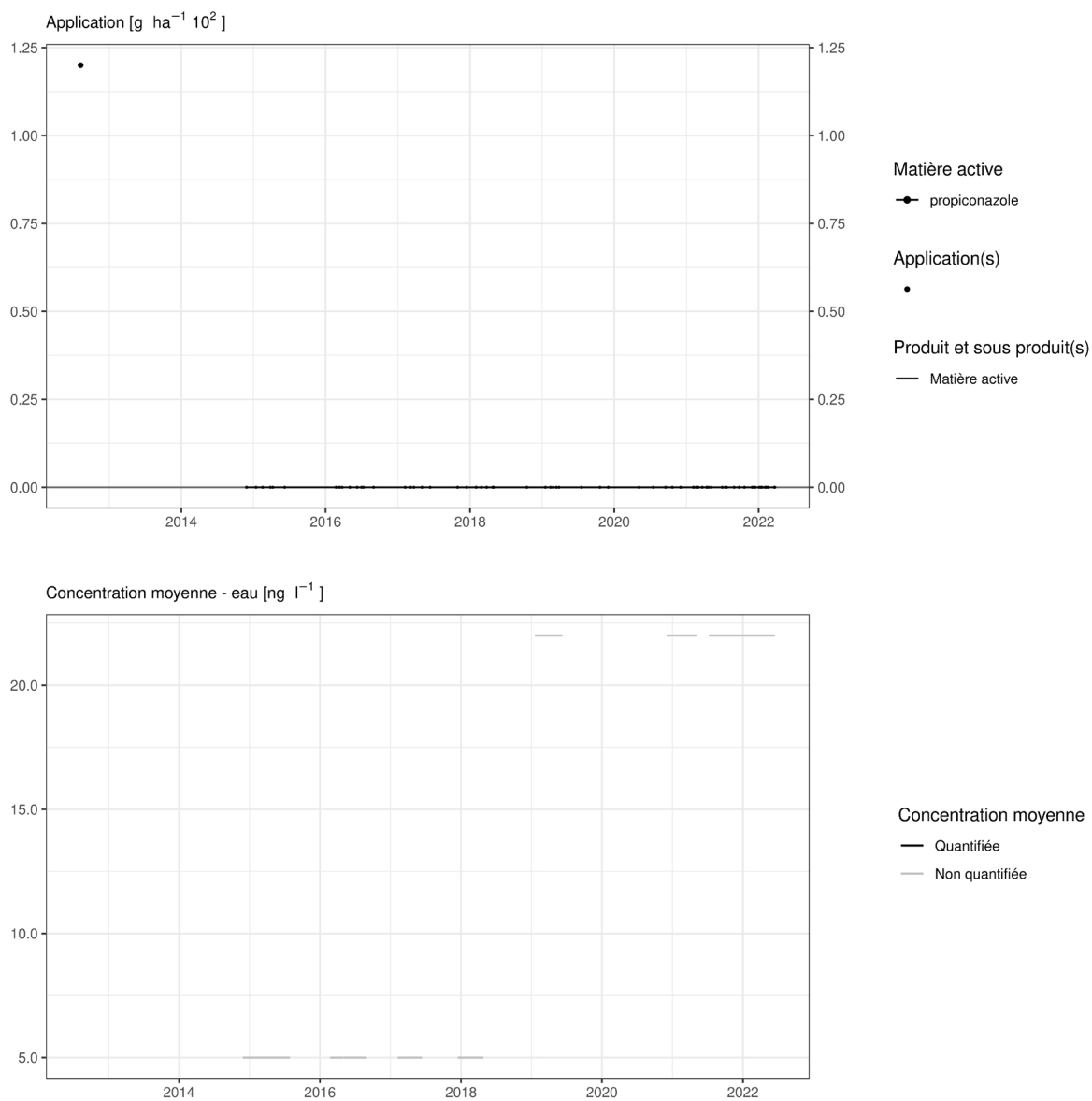
### **EAU**

Cette matière active n'a été observée que dans un seul échantillon d'eau collecté à l'exutoire d'un des lysimètres de Sol-Résidus (SR4). S'agissant de la première analyse d'eau sur ce lysimètre et vu le faible volume d'eau collecté, le résultat (très faible) n'est guère interprétable.

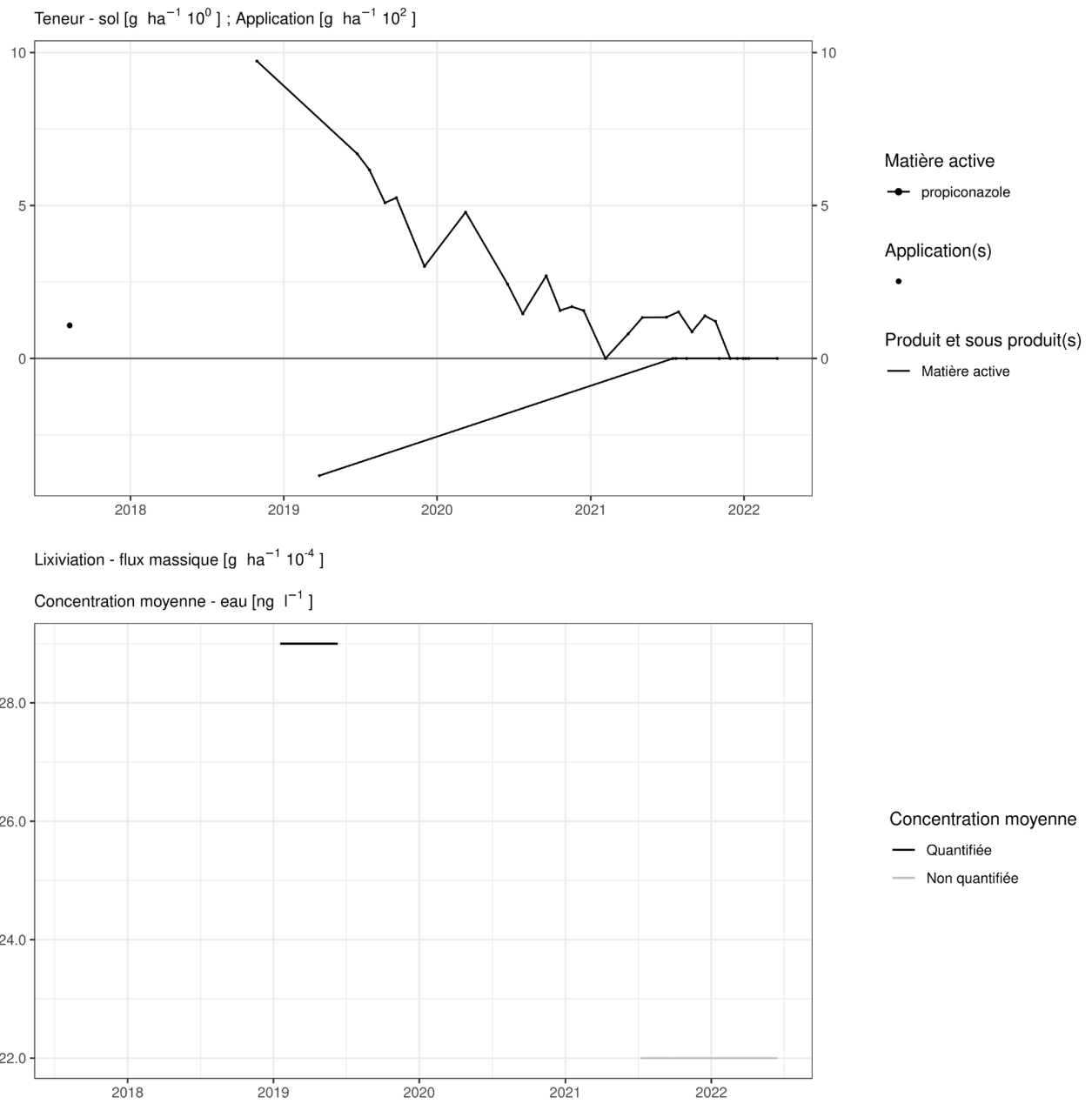
Dans tous les autres échantillons, le niveau de concentration est inférieur à la LOQ.



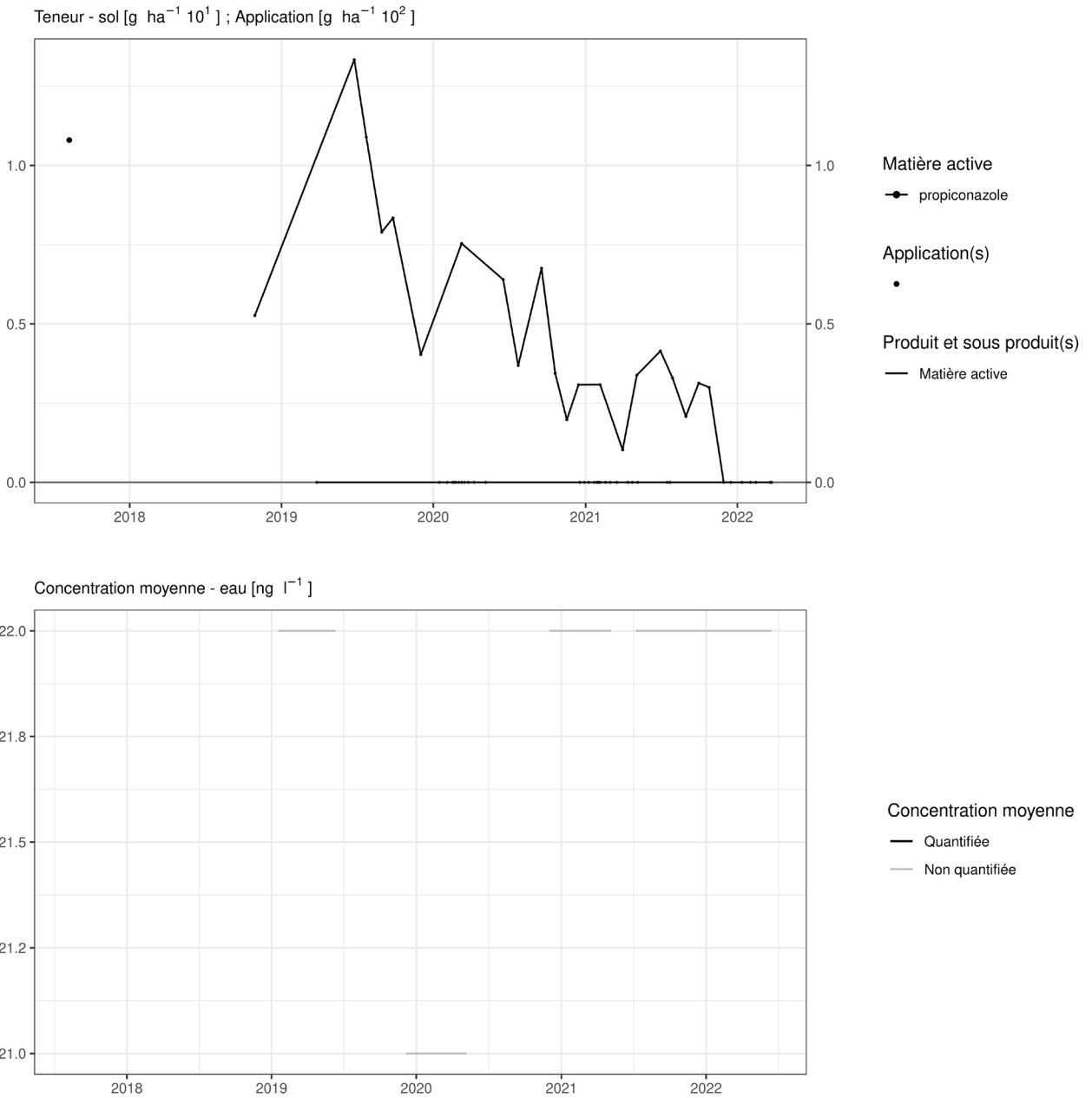
**Figure 158. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle Sole 4.**



**Figure 159. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle Bovenistier.**



**Figure 160. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR4.**



**Figure 161. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR8.**

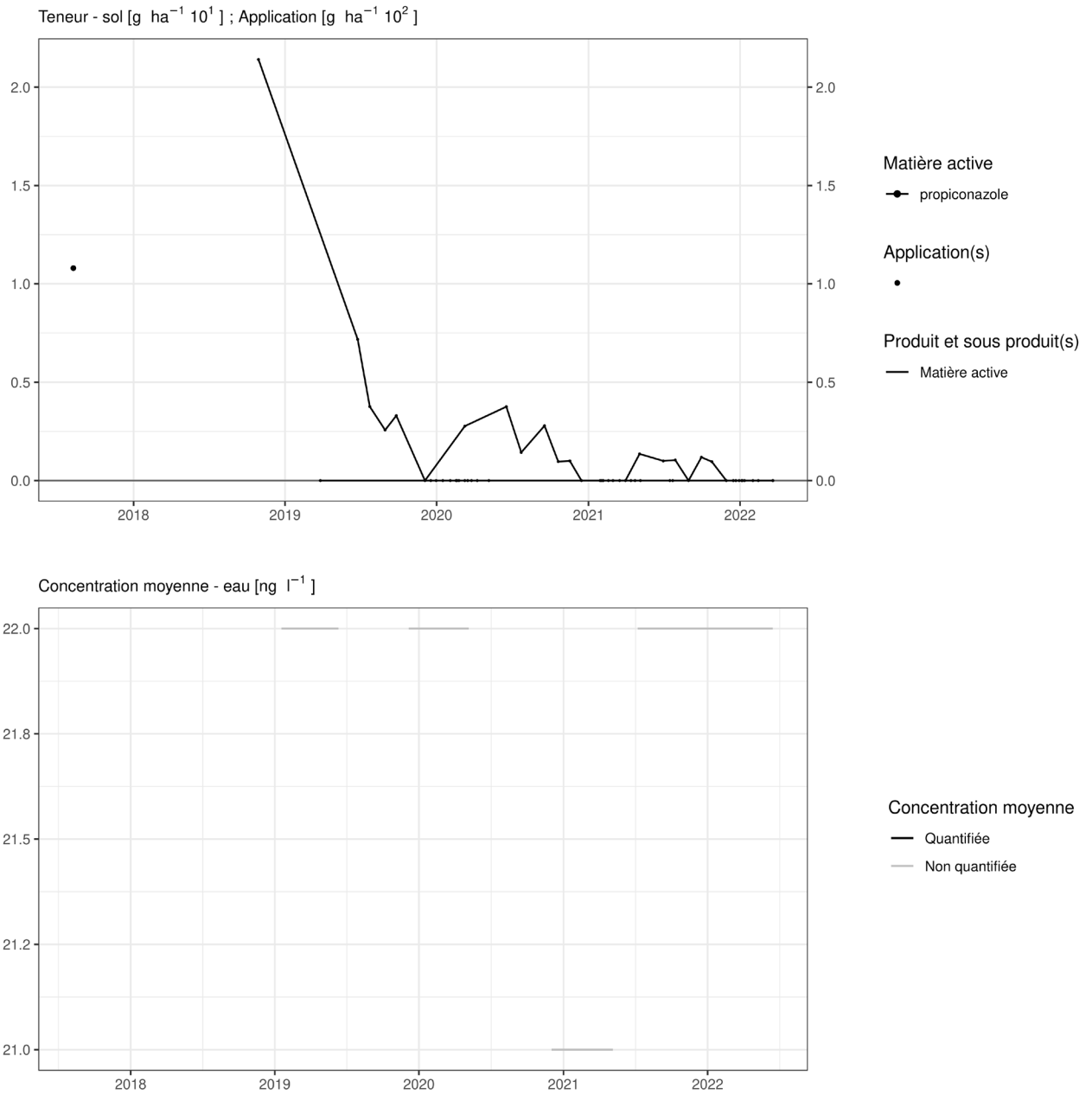
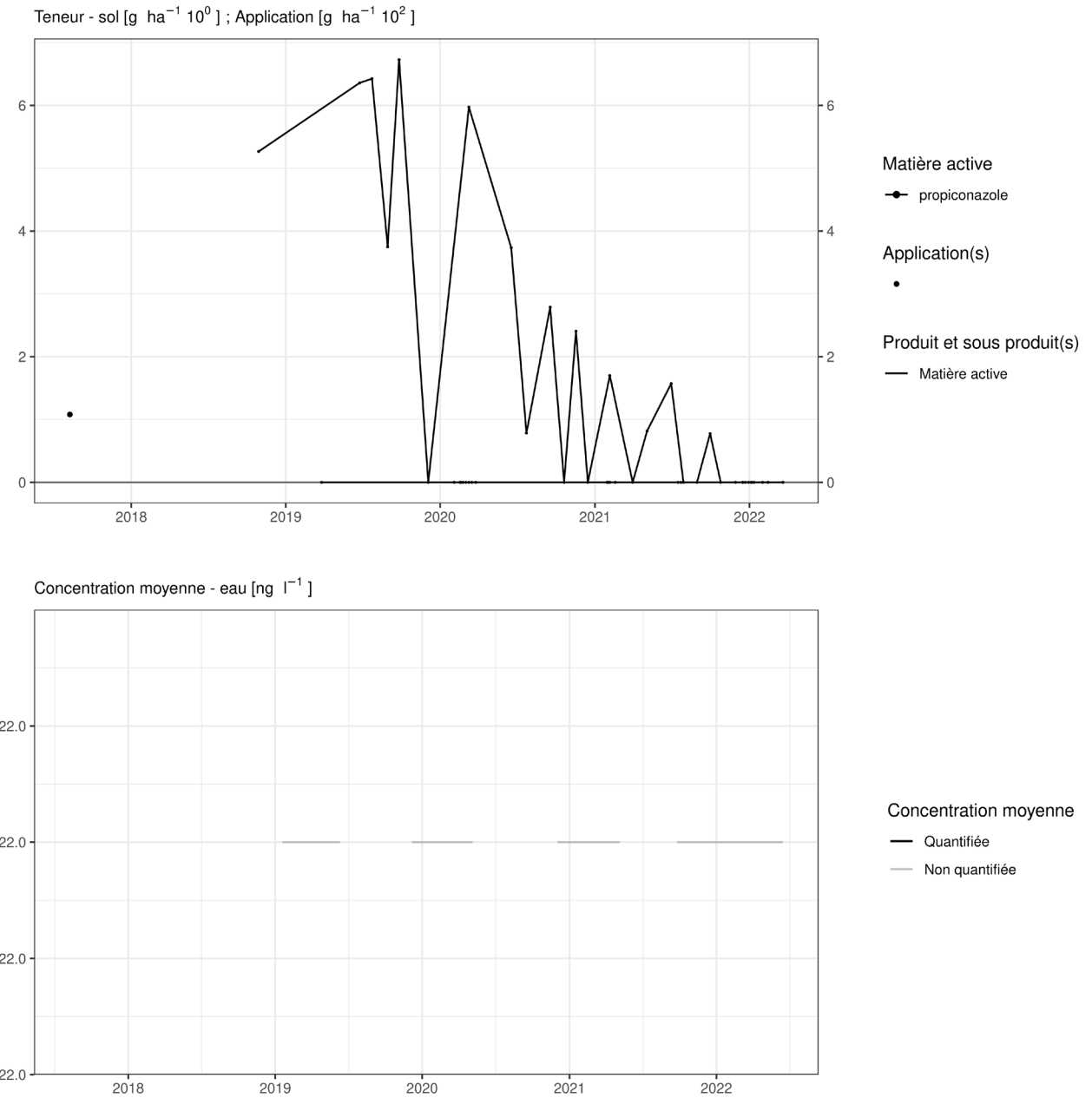


Figure 162. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR12.





**Figure 163. Applications et suivi de la teneur en propiconazole dans la parcelle SR16.**

### 4.31. Prosulfocarbe

Le prosulfocarbe est un herbicide utilisé sur culture de pomme de terre ou de carotte dans des parcelles équipées d'un lysimètre.

#### **SOL**

La matière active n'a été recherchée qu'à partir de mai 2022.

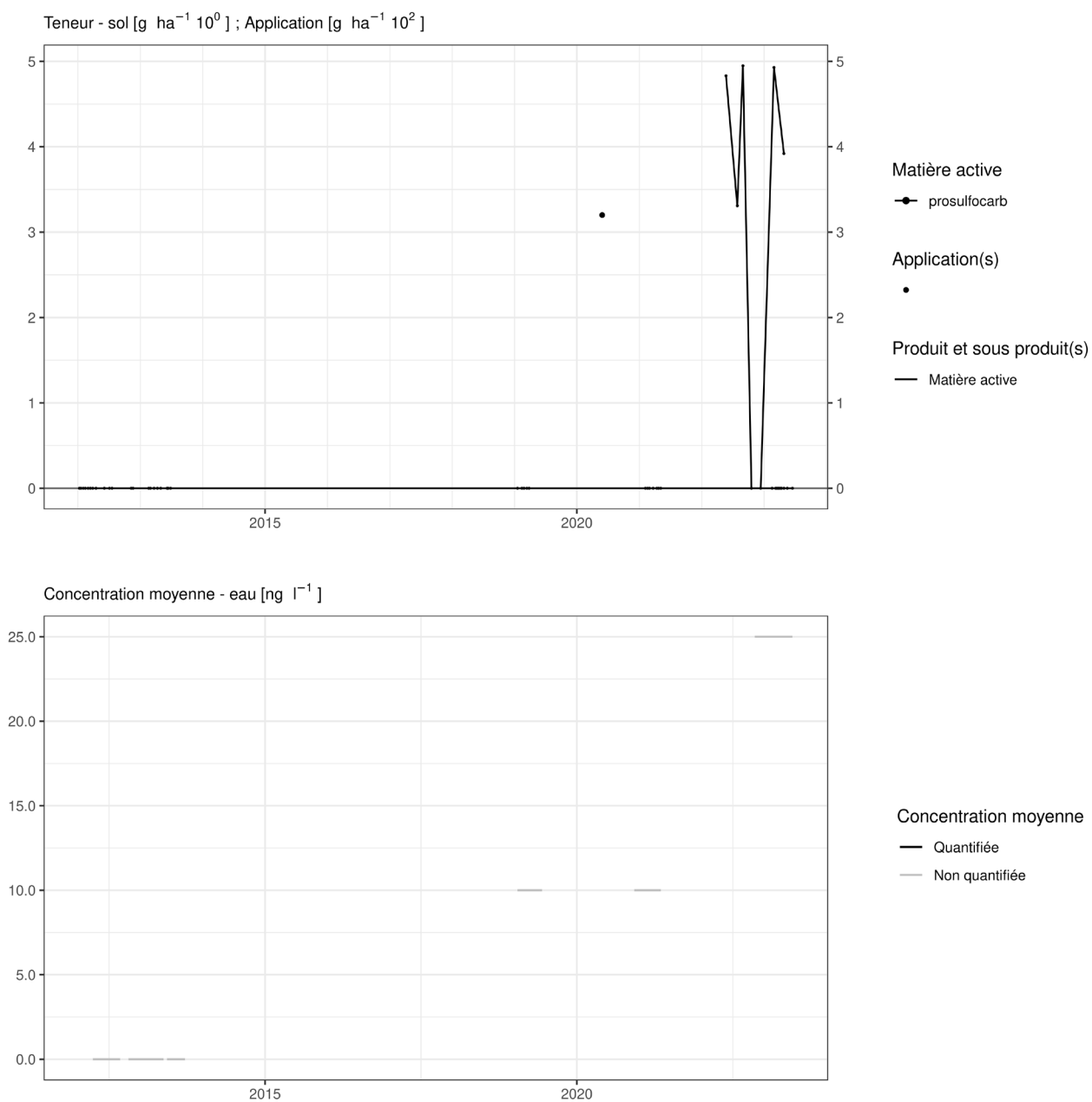
Deux ans après un traitement, les observations (figure 164 et figure 166) sont les suivantes :

- sur la parcelle Bovenistier, un apport de 320 g/ha au printemps 2020 conduit à une concentration dans le sol de l'ordre de 5 g/ha en 2022 ;
- sur la parcelle Sole 4, un apport de 2.400 g/ha au printemps 2020 conduit à une concentration dans le sol de l'ordre de 10 g/ha en 2022.

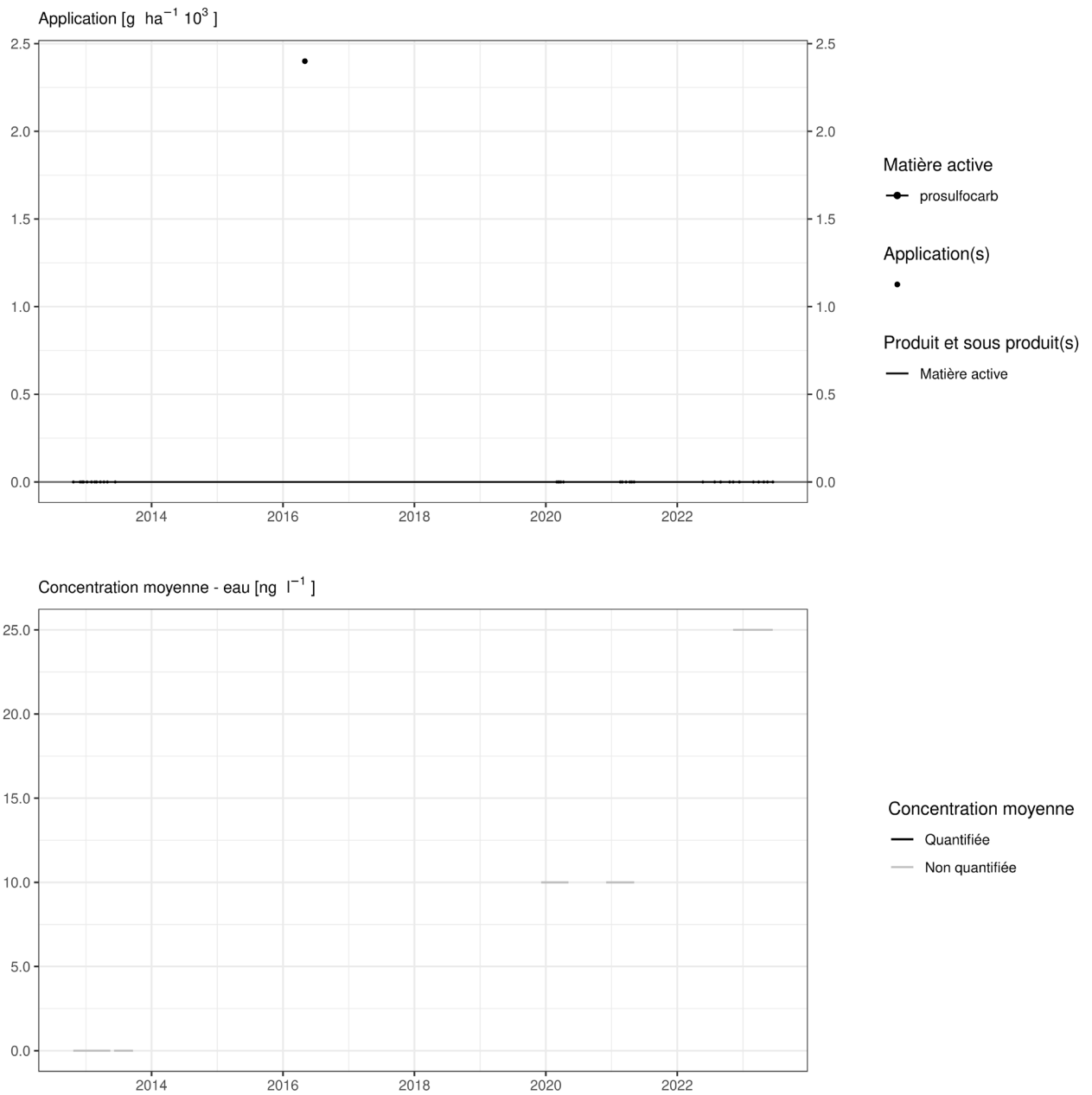
Six ans après un traitement, la matière active n'est plus observée dans le sol (figure 165).

#### **EAU**

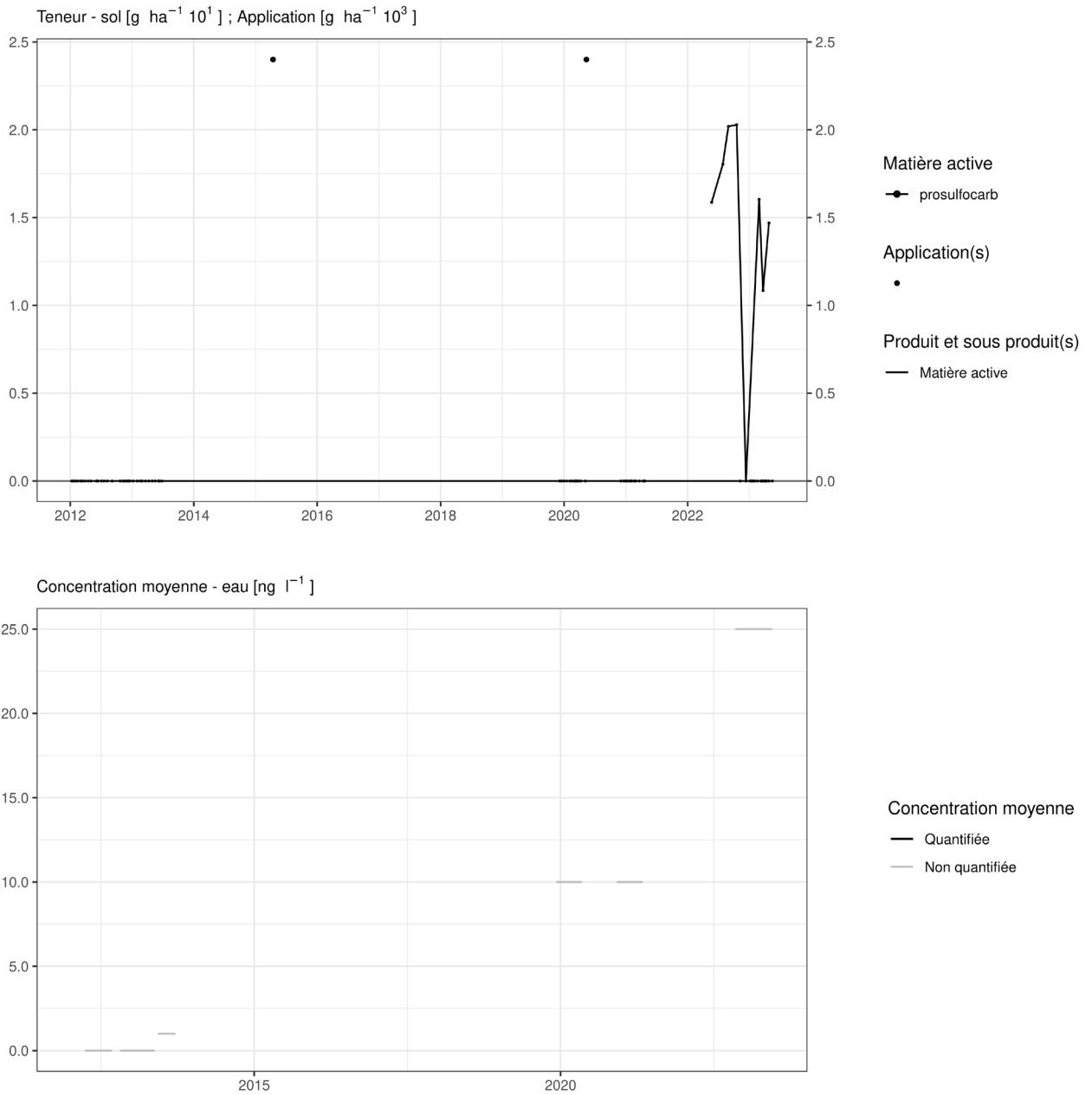
Cette matière active n'a été observée que dans des concentrations inférieures à la LOQ.



**Figure 164. Applications et suivi de la teneur en prosulfocarbe dans la parcelle Bovenistier.**



**Figure 165. Applications et suivi de la teneur en prosulfocarbe dans la parcelle Haute Bova.**



**Figure 166. Applications et suivi de la teneur en prosulfocarbe dans la parcelle Sole 4.**

## 4.32. Sulfoxaflor

Le sulfoxaflor est un insecticide qui a été utilisé sur la parcelle Chemin de fer en culture de fève de marais.

Un apport de 120 g/ha de matière active a été réalisé le 2 mai 2022. Les observations suivantes ont été réalisées dans le sol (figure 167) :

- la matière active n'a pas été observée.
- le métabolite (XDE-208 UREA) de cette matière active a été observé dans le sol quelques jours après l'apport en une concentration équivalente au tiers de l'apport initial. Cette concentration a diminué au cours du temps pour ne plus être quantifiable un peu moins d'un an après le traitement.

La matière active et son métabolite ont été observés dans l'eau en concentration inférieure à la LOQ ; celle-ci étant trop élevée pour pouvoir être interprétée.

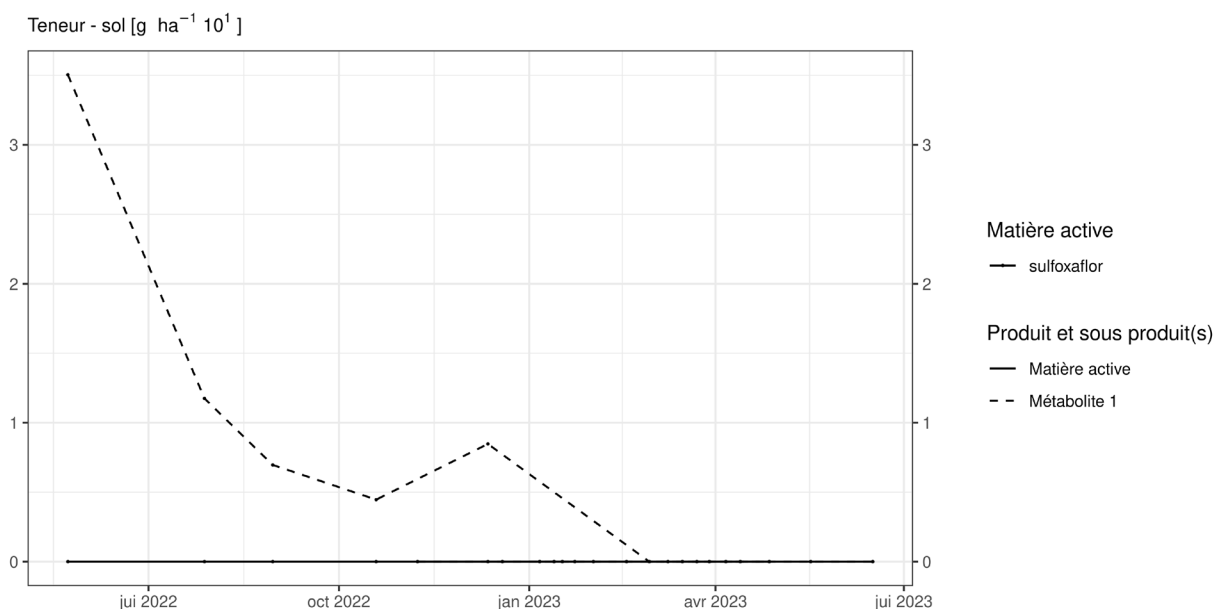


Figure 167. Applications et suivi de la teneur en sulfoxaflor dans la parcelle Chemin de fer

### 4.33. Terbuthylazine

Le terbuthylazine est un herbicide utilisé sur culture de maïs dans les parcelles équipées d'un lysimètre.

#### **SOL**

Quelques observations ont été faites sur une parcelle de Hesbaye (figure 168). Elles ne sont cependant guère exploitables :

- très petits flux (correspondant à une concentration de quelques nanogrammes par litre) en 2012 sans information sur les usages antérieurs à 2010 ;
- quelques grammes par hectare dans le sol de la parcelle Sole 4 en 2018 suite à un traitement réalisé en 2014. A noter que la parcelle a été louée en 2015 à un tiers pour y cultiver de la pomme de terre sans que cette matière active soit annoncée dans le traitement herbicide réalisé.

Les figures 169 à 172 illustrent les observations réalisées sur les parcelles Sol-Résidus.

Quelques jours après un apport d'un peu plus de 500 g/ha, des concentrations quasi similaires (de 200 à 500 g/ha) sont constatées dans le sol.

Quelques mois après l'apport, la concentration dans le sol varie de 50 à 200 g/ha.

A plus long terme (trois ans après les traitements réalisés en 2015 et 2019 sur les parcelles Sol-Résidus et observations sur la parcelle Sole 4), la concentration dans le sol n'est plus, au maximum, que de quelques grammes par hectare.

#### **EAU**

En termes de flux, cette matière n'a été détectée qu'à une seule reprise sur un seul des lysimètres de Sol-Résidus. La quantité lixiviée (près de 0,002 g/ha) représente 0,0004 % de l'apport.

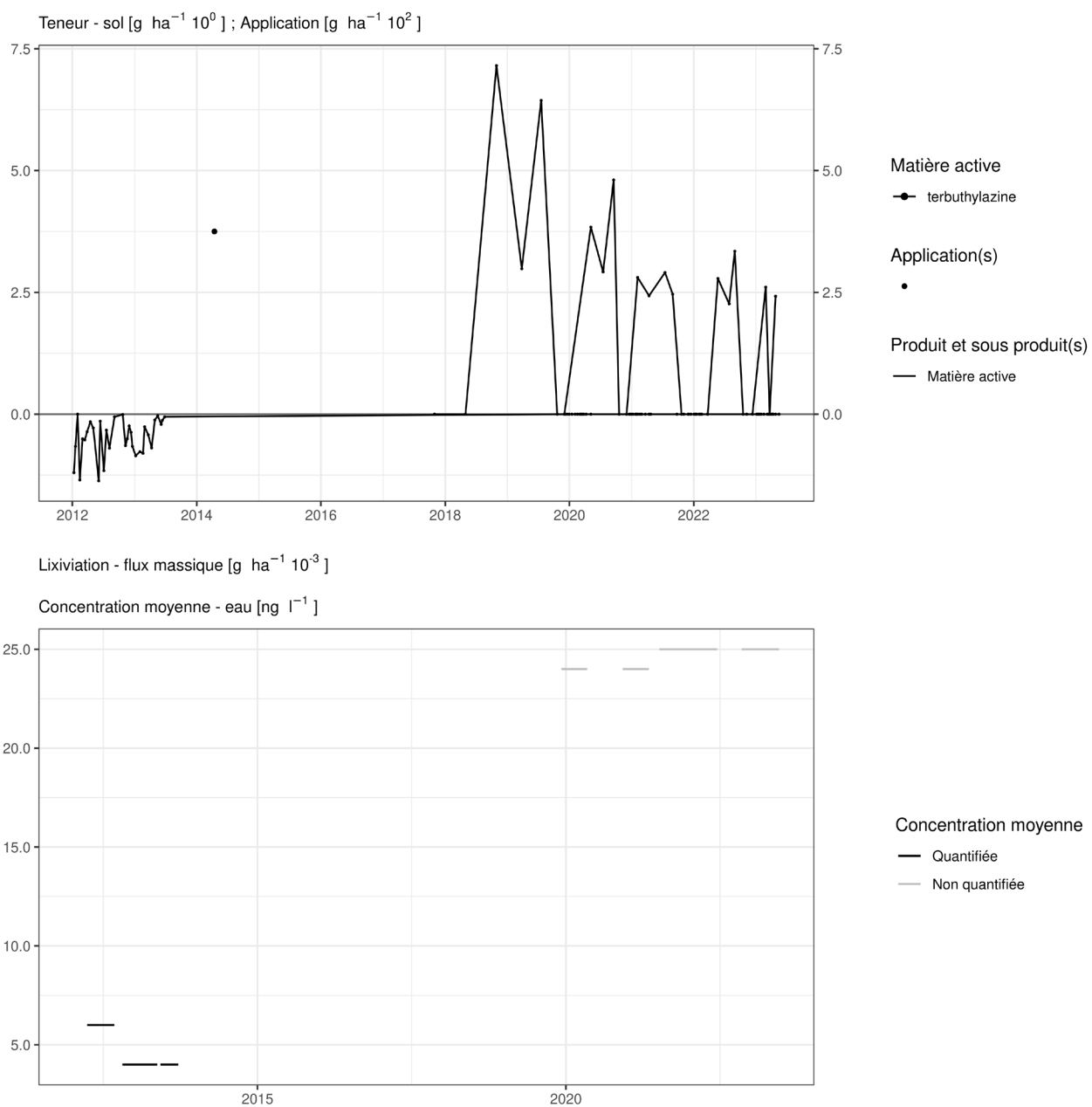
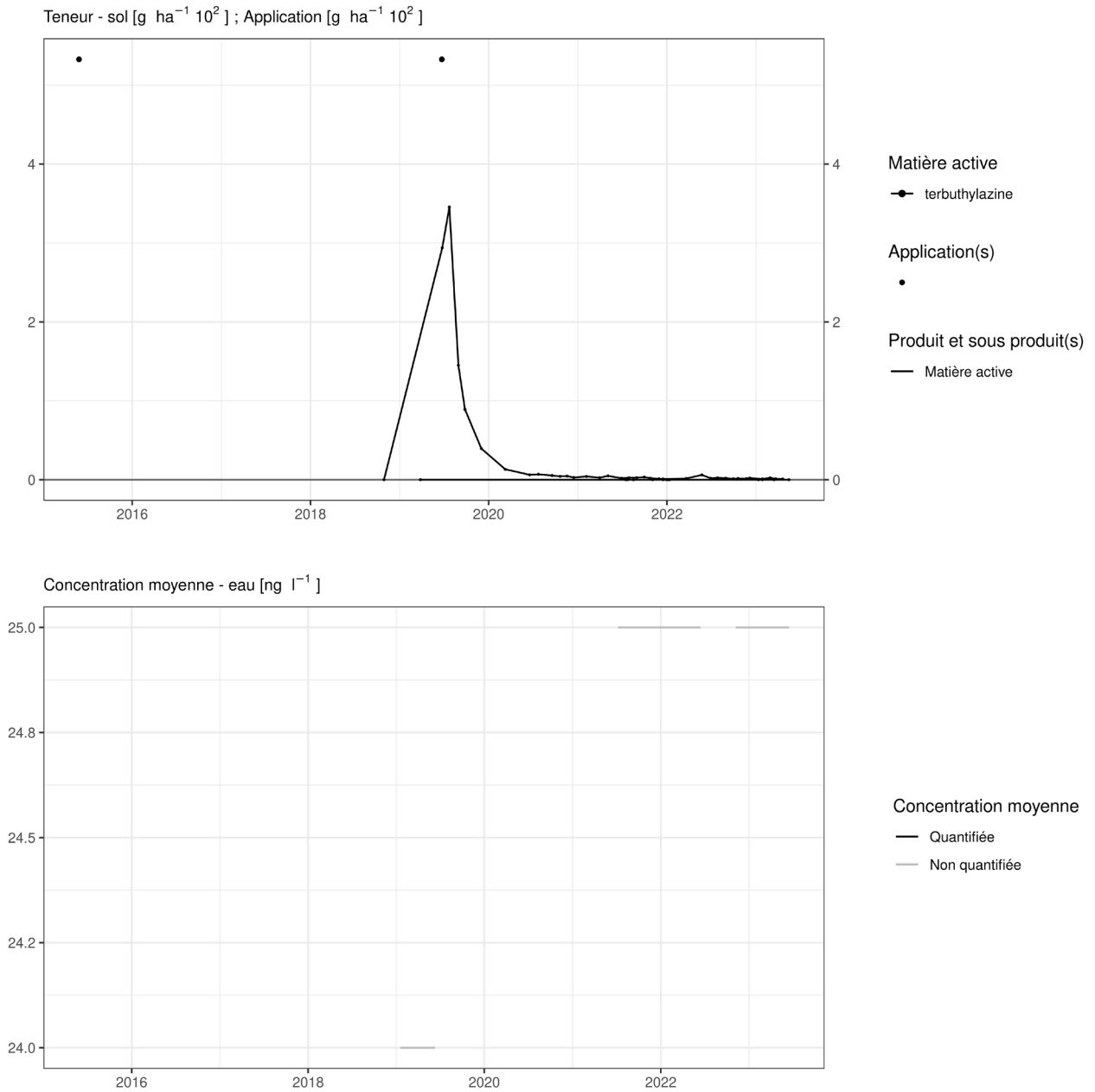
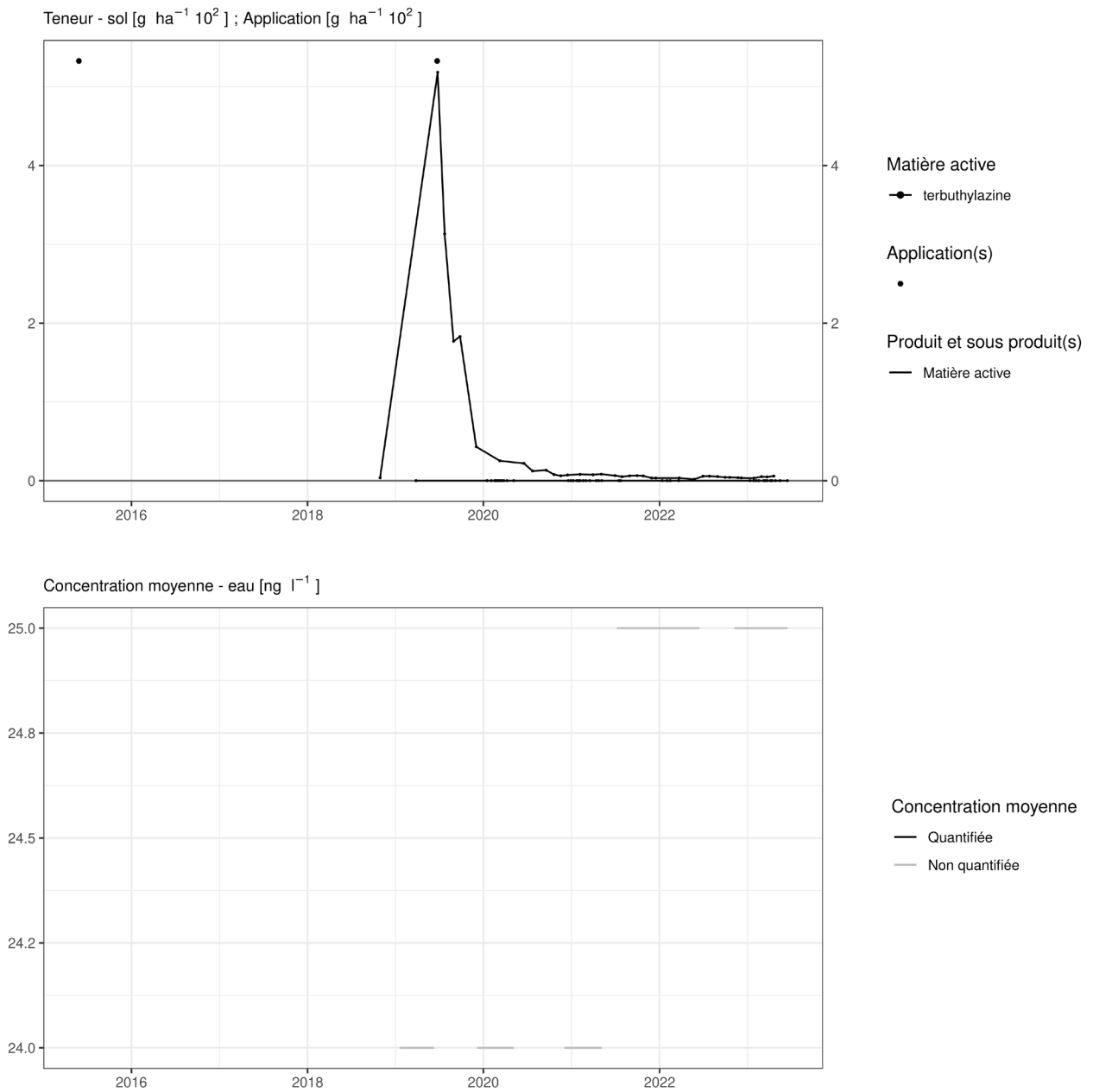


Figure 168. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle Sole 4.

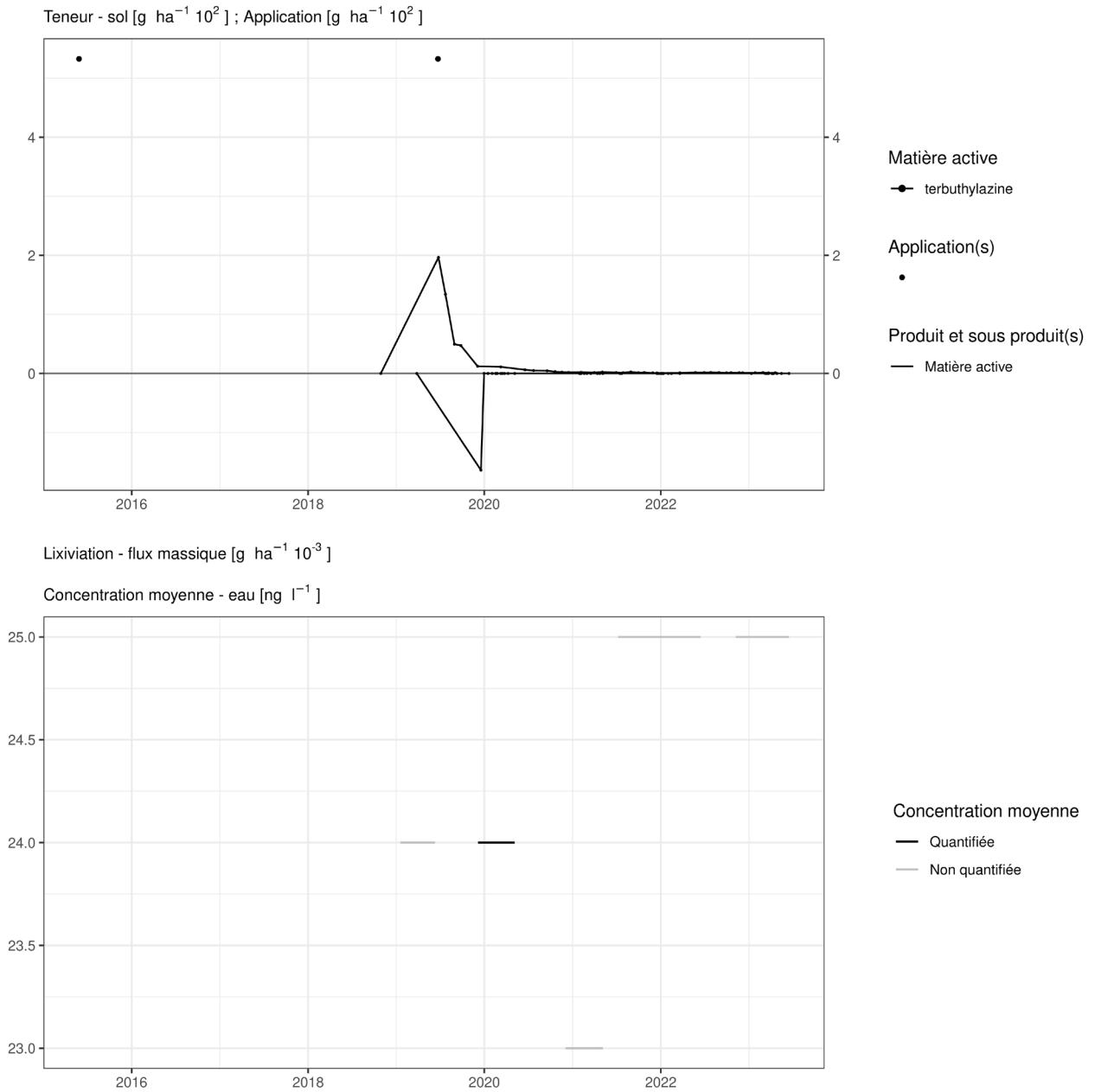




**Figure 169. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR4.**



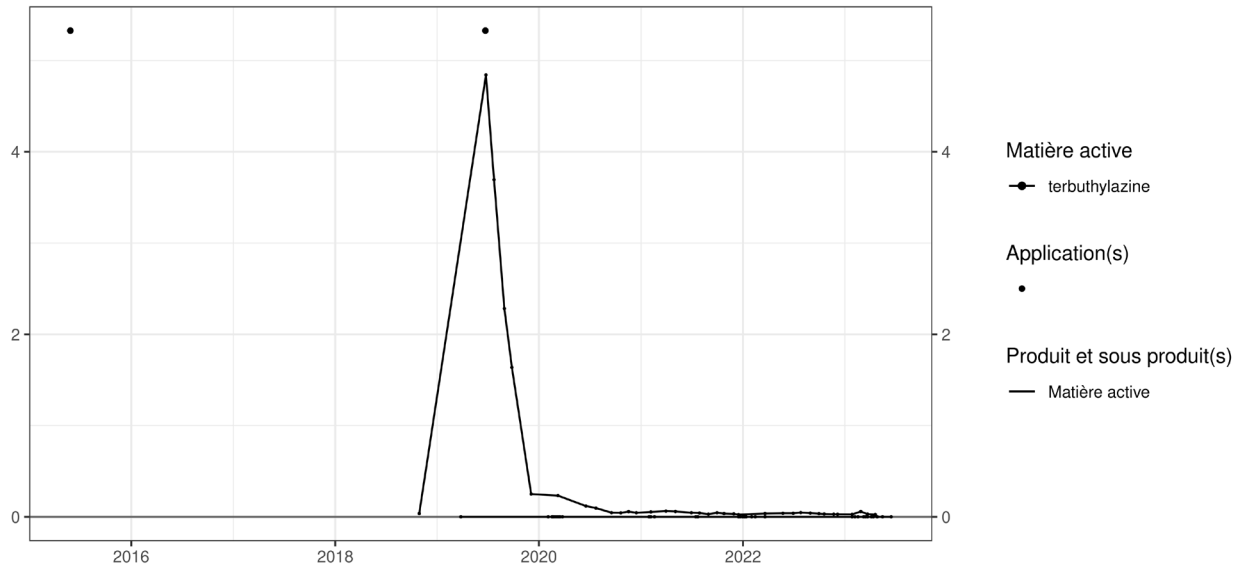
**Figure 170. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR8.**



**Figure 171. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR12.**



Teneur - sol [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]; Application [g ha<sup>-1</sup> 10<sup>2</sup>]



Concentration moyenne - eau [ng l<sup>-1</sup>]

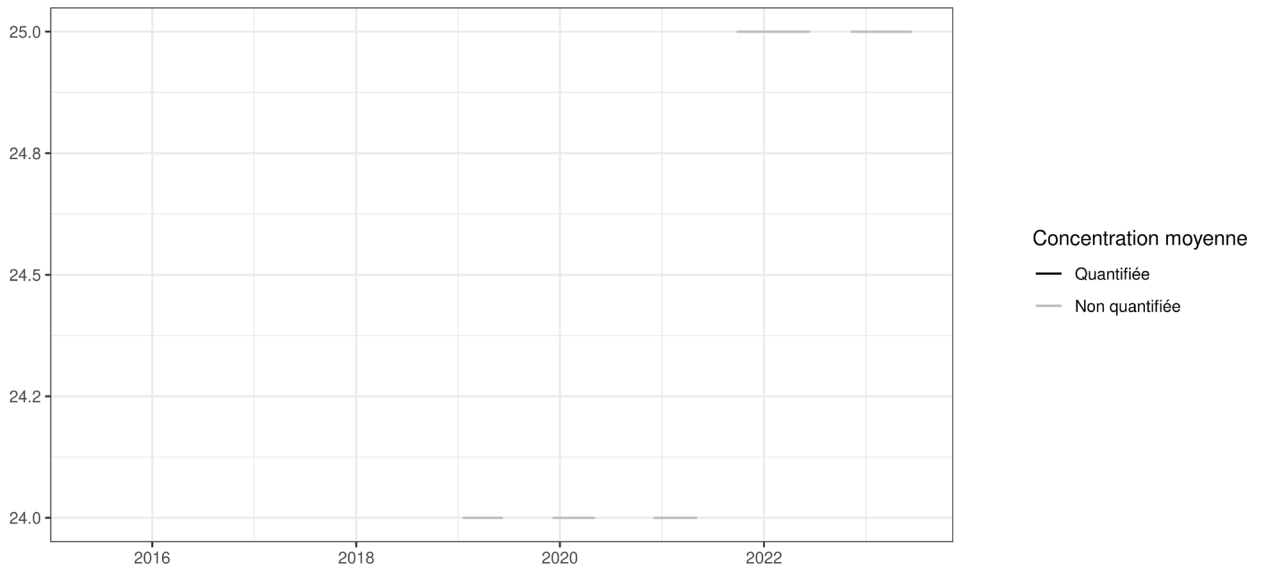


Figure 172. Applications et suivi de la teneur en terbuthylazine dans la parcelle SR16.

## 4.34. Conclusions

Trente-deux matières actives différentes ainsi qu'une dizaine de métabolites ont fait l'objet d'un suivi en termes d'applications (recensées jusqu'au moins 2010), de teneur dans le sol (depuis au moins 2018<sup>7</sup>) et de lixiviation (depuis 2012<sup>8</sup> sur les parcelles de Hesbaye et 2018 sur les parcelles Sol-Résidus).

Les résultats présentés dans ce paragraphe illustrent :

- la diversité des comportements tant de persistance dans le sol que de lixiviation ;
- la qualité de l'analyse de sol en tant qu'indicateur d'usage d'une matière active et
- la performance du dispositif dans l'évaluation des flux de matières actives vers les eaux souterraines.

Dans le **sol**, certaines matières actives sont très persistantes. Il s'agit essentiellement de fongicides (y compris les SDHI).

Des herbicides tels que l'acétonifène sont encore présents dans le sol plusieurs années après l'apport. La dose maximale admissible étant très élevée (plusieurs kilogrammes de matière active par an) explique en partie ce constat.

La Clomazone présente également une rémanence importante dans le sol.

Dans l'**eau**, ce sont principalement des herbicides (et leurs métabolites) qui retiennent l'attention. Le desphenyl chloridazole présente, même plus de 10 ans après un dernier traitement des concentrations de l'ordre de 10.000 ng/l. Pour une application plus 'récente' (5 ans), la concentration moyenne annuelle observée au cours des dernières périodes de lixiviation est double.

Le métabolite du metazachlore présente des concentrations moyennes annuelles de 100 à 1000 ng/l lorsque le dernier traitement date d'une quinzaine d'années.

Le métabolite du metolachlore présente des concentrations moyennes annuelles entre 2000 et 10.000 ng/l lorsqu'il est appliqué tous les deux ans. En cas d'usage moins régulier, la concentration est de l'ordre de 500 ng/l. Pour des usages anciens (une quinzaine d'années), les concentrations moyennes annuelles n'excèdent pas 100 ng/l

Sporadiquement, du boscalid, de l'éthofumesate, du flufenacet, de l'époxiconazole, du fluxapyroxad, et du metamitron ont été quantifiés dans des échantillons d'eau pour générer une concentration moyenne annuelle de l'ordre de 5 à 30 ng/l.

---

<sup>7</sup> Dosage ISSEP avant 2018.

<sup>8</sup> Dosage SWDE et ISSEP jusqu'en 2018.

## 5. Evaluation agronomique et environnementale de matières actives alternatives au glyphosate

---

### 5.1. Introduction

Un des objectifs de la convention de recherche vise à proposer et tester des matières actives alternatives au glyphosate. Le test vise d'une part, à confirmer l'efficacité de ces matières actives pour la destruction des adventices avant semis d'une culture de printemps et d'autre part, surtout à évaluer l'impact environnemental (stock dans le sol et migration en profondeur) de leur usage.

Lors de la réunion du Comité d'accompagnement de la convention tenue en 2022, il a été décidé de tester les matières actives suivantes :

- florasulam
- halauxifène-méthyl
- pyraflufen-éthyl
- propaquizafop
- metsulfuron-méthyl
- acide pélargonique

### 5.2. Matériel et méthode

L'expérimentation a été menée sur la plateforme Sol-Résidus de Gembloux Agro Bio Tech, à l'aplomb des quatre lysimètres (SR4, SR8, SR12 et SR16). Les parcelles SR4 et SR12 en non-labour étaient couvertes de résidus de CIPAN (moutarde), de repousses de froment et de quelques adventices (en avant plan sur la photo ci-dessous). Les parcelles SR8 et SR16 en labour ne présentaient pas de végétation (en arrière-plan sur la photo ci-dessous).



Le 17 mars, une pulvérisation de ces matières actives a été réalisée à l'aplomb des quatre lysimètres. La bouillie préparée contenait les produits suivants :

- Zypar (1000 ml.ha<sup>-1</sup>) contenant 5 g.l<sup>-1</sup> de florasulam, 6,25 g.l<sup>-1</sup> d'halauxifène-méthyl et 6 g.l<sup>-1</sup> de cloquintocet-mexyl
- Gozai (800 ml.ha<sup>-1</sup>) contenant 26,5 g.l<sup>-1</sup> de pyraflufen-éthyl

- Agil (1500 ml.ha<sup>-1</sup>) contenant 100 g.l<sup>-1</sup> de propaquizafop
- Allie (20 g.ha<sup>-1</sup>) contenant 200 g.kg<sup>-1</sup> de metsulfuron-méthyl
- Acide pélargonique (7 l.ha<sup>-1</sup>)

Afin de suivre la dégradation du produit et son éventuelle lixiviation, des échantillons de sol ont été prélevés le 28 février, préalablement à la pulvérisation et aux dates suivantes : 17, 20, 23, 27 et 30 mars, 6, 13 et 20 avril 2023.

Les éventuels flux jusqu'à la base du lysimètre seront recherchés au cours de la prochaine saison de lixiviation (hiver 2023-2024) et seront traités dans le prochain rapport d'activités.

Parallèlement à l'expérimentation mise en place à l'aplomb des lysimètres, des micro parcelles ont également fait l'objet d'un traitement pour chacun des produits et un traitement de glyphosate a été réalisé sur le reste de la parcelle afin comparer l'efficacité des traitements.

### 5.3. Résultats analytiques

#### 5.3.1. Florasulam

Un apport de florasulam a été réalisé au printemps 2022 (soit un an avant la présente expérimentation). Les analyses de sol réalisées préalablement avant l'expérimentation n'ont pas révélé de résidus de ce traitement.

Les observations ont été réalisées sur les quatre parcelles sont similaires. Pour nous pas alourdir le rapport, seuls les résultats du SR16 sont présentés (figure 173).

Quelques heures après le traitement, des échantillons de sol ont été prélevés et analysés. Le florasulam a pu y être dosé dans la couche 0-10 cm et n'a pas été détecté dans les couches sous-jacentes. Il a ensuite été détecté jusqu'au 23 mars, toujours uniquement dans la couche 0-10 cm. Les échantillons prélevés le 27 mars n'ont plus révélé de trace de ce produit.

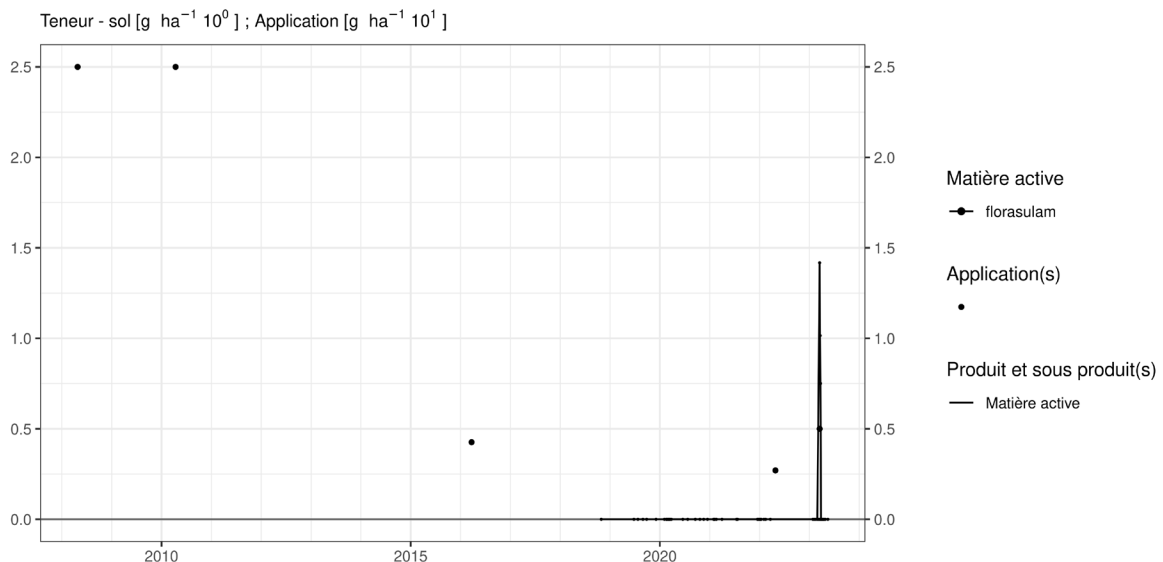


Figure 173. Applications et suivi de la teneur en florasulam dans la parcelle SR16.

### 5.3.2. Halauxifène-méthyl

Les observations ont été réalisées sur les quatre parcelles sont similaires. Pour nous pas alourdir le rapport, seuls les résultats du SR16 sont présentés (figure 174).

Quelques heures après le traitement, des échantillons de sol ont été prélevés et analysés. Cette matière active a pu y être dosée dans la couche 0-10 cm et n'a pas été détectée dans les couches sous-jacentes. Elle a ensuite été détectée jusqu'au 13 avril, toujours uniquement dans la couche 0-10 cm. Les échantillons prélevés le 20 avril n'ont plus révélé de trace de ce produit.

Différence notable entre lysimètres, une concentration logiquement plus faible en non labour due à la présence de végétation et logiquement une non-détection plus rapide (fin mars).

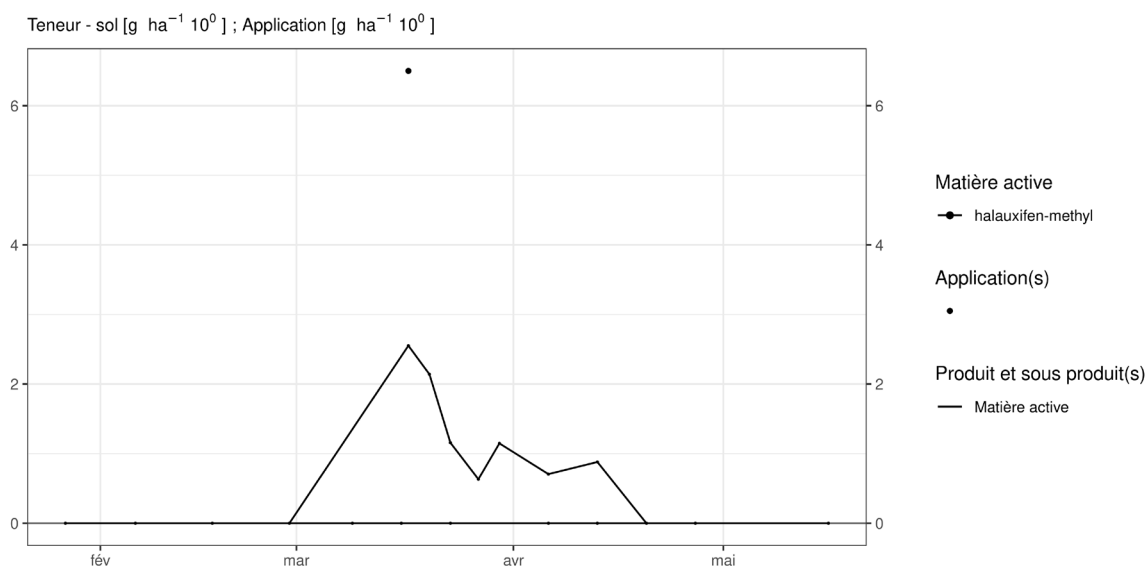


Figure 174. Application et suivi de la teneur en halauxifène-méthyl dans la parcelle SR16.

### 5.3.3. Pyraflufen-éthyl

Bien qu'appliquée à une concentration similaire à l'halauxifène-éthyl, cette matière active n'a jamais pu être quantifiée dans les échantillons de sol.

### 5.3.4. Propaquizafop

Les observations ont été réalisées sur les quatre parcelles sont similaires. Pour nous pas alourdir le rapport, seuls les résultats du SR16 sont présentés (figure 175).

Quelques heures après le traitement, des échantillons de sol ont été prélevés et analysés. Cette matière active a pu y être dosée dans la couche 0-10 cm et n'a pas été détectée dans les couches sous-jacentes. Elle a ensuite été détectée jusqu'au 6 avril, toujours uniquement dans la couche 0-10 cm. Les échantillons prélevés les 13 et 20 avril n'ont plus révélé de trace de ce produit.



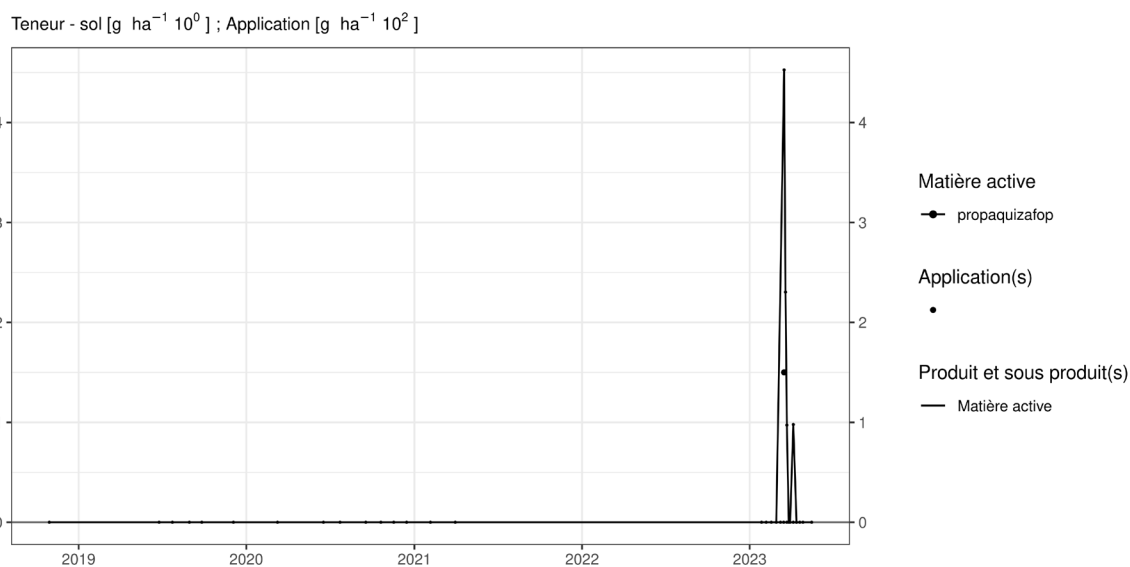


Figure 175. Application et suivi de la teneur en propaquizafop dans la parcelle SR16.

### 5.3.5. Metsulfuron-méthyl

Les observations ont été réalisées sur les quatre parcelles sont similaires. Pour nous pas alourdir le rapport, seuls les résultats du SR16 sont présentés (figure 176).

Le traitement réalisé en 2015 n'a pas été détecté dans l'échantillon de sol prélevé avant l'expérimentation.

Quelques heures après le traitement, des échantillons de sol ont été prélevés et analysés. Cette matière active a pu y être dosée dans la couche 0-10 cm et n'a pas été détectée dans les couches sous-jacentes. Elle a ensuite été détectée jusqu'au 6 avril, toujours uniquement dans la couche 0-10 cm. Les échantillons prélevés les 13 et 20 avril n'ont plus révélé de trace de ce produit.

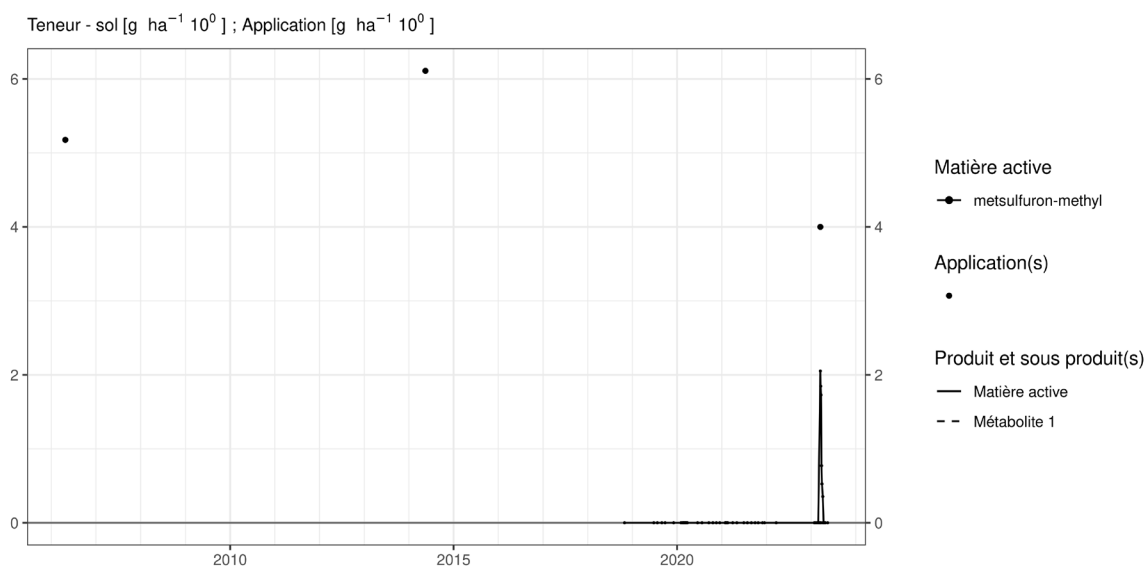


Figure 176. Applications et suivi de la teneur en metsulfuron-méthyl dans la parcelle SR16.

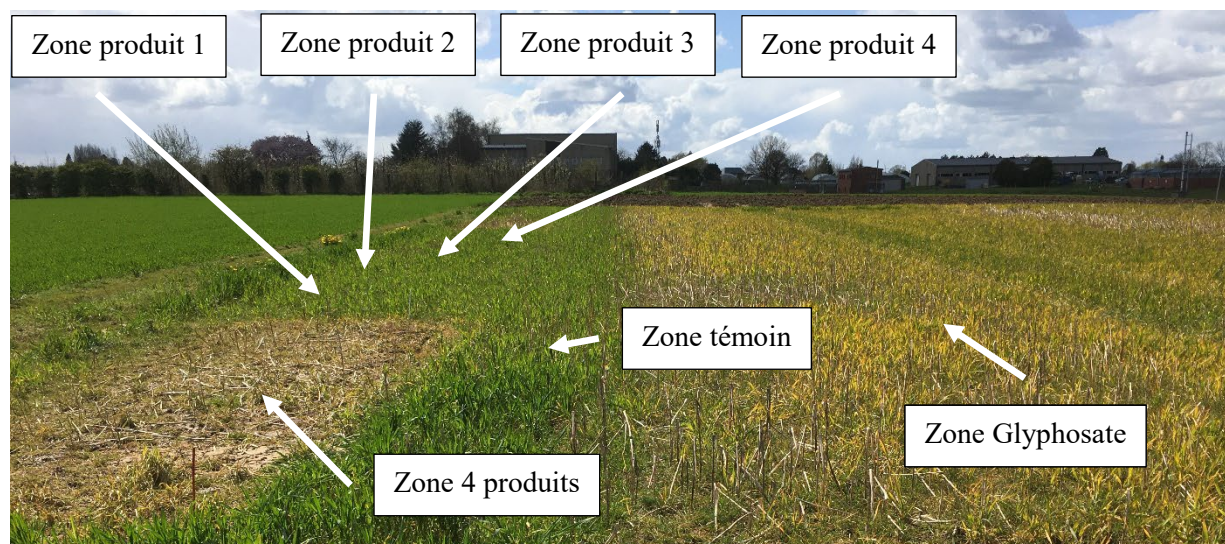
## 5.4. Résultats agronomiques

L'effet des produits sur le couvert n'a pas été jugé performant pour l'ensemble des produits, excepté pour l'Agil qui a permis une bonne destruction des repousses de froment ainsi que des adventices de type graminées. Par contre, de par son spectre d'action uniquement basé sur les graminées, l'Agil n'a pas eu d'effet sur les dicotylées présentes.

La pulvérisation au-dessus des lysimètres à quant à elle montrée une destruction totale du couvert montrant peut-être un effet synergique lorsque les produits sont pulvérisés ensemble (photo ci-dessous prise le 13 avril 2023).

Les conditions de température peu élevées mais néanmoins normales de ce printemps n'étaient pas propice aux herbicides. Cela peut expliquer le manque d'efficacité de certains produits.

Par contre, le témoin glyphosate pulvérisé sur la terre le 28 mars, soit 11 jours après l'application des quatre produits, a montré une bonne efficacité indiquant qu'il reste efficace même dans des conditions de températures non optimales.



## 5.5. Conclusions

Dans un contexte pluviométrique normal (80 mm de pluie en 30 jours) de l'expérimentation, les observations réalisées sur les cinq matières actives ciblées (florasulam, halauxifène-méthyl, pyraflufen-éthyl, propaquizafop et metsulfuron-méthyl) ont montré une absence ou une non-quantification de flux sous 10 cm de sol et la non-quantification de ces matières dans le mois qui suit le traitement.

Ces observations sont globalement similaires à celles réalisées lors d'une précédente expérimentation (2019) avec du glyphosate. Il convient cependant de tempérer le propos en précisant que la LOQ des matières actives testées en 2023 est de l'ordre de  $0,4 \mu\text{g.kg}^{-1}$  alors que la LOQ du glyphosate est de l'ordre de  $40 \mu\text{g.kg}^{-1}$ . En réalité, il est donc possible que le glyphosate soit présent dans le sol en quantité supérieure à celles quantifiées pour les matières actives testées en 2023.

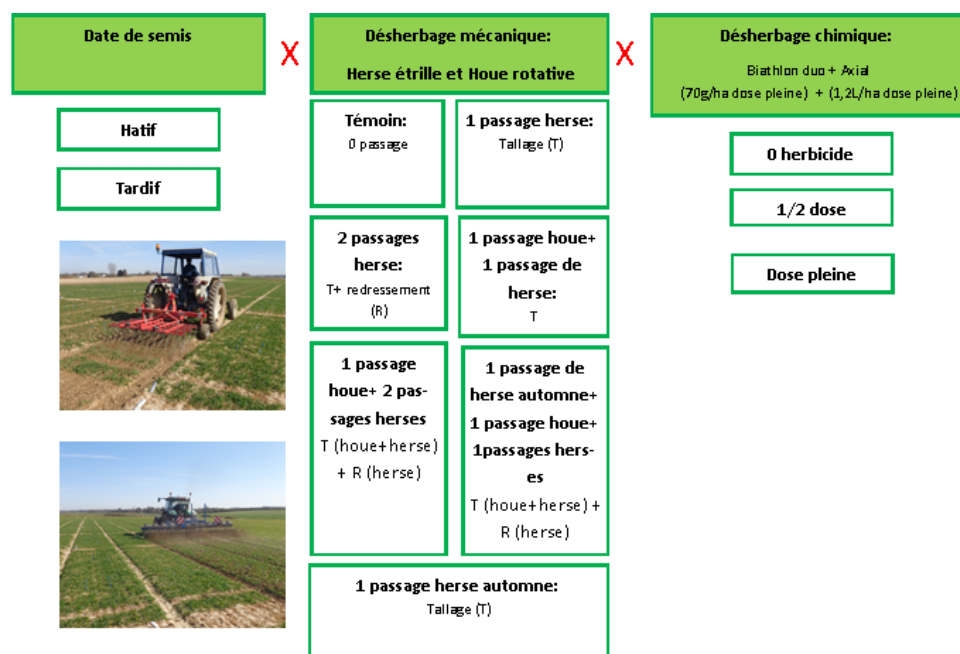
En ce qui concerne l'efficacité agronomique des traitements, il apparaît qu'individuellement, ces produits sont peu efficaces et moins efficaces que le glyphosate.

## 6. Désherbage des céréales

### 6.1. Dispositif expérimental

Afin de poursuivre les différentes pistes de réduction d'usage PPP entamées depuis la première triennale du projet Sol-Phy-Ly, l'essai de désherbage en froment d'hiver a été réinstallé. Celui-ci a toutefois été modifié, comme proposé lors de la dernière réunion du Comité d'Accompagnement.

Cet essai comporte deux dates de semis du blé (hâtif, tardif) sur lesquelles des modalités de désherbage mécanique (herse étrille, houe rotative) à plusieurs gradients d'intensité (0, 1, 2 passages de herse, 1 passage de houe + 1 passage de herse, 1 passage de houe + 2 passages de herse, 1 passage de herse automne + 1 passage de houe + 1 passage de herse, 1 passage de herse automne) croisées à l'utilisation d'herbicides à différentes doses d'application (0, 1/2 dose et pleine dose) ont été testées. Cet essai est mené en micro parcelles (2\*8m) sur les terres de la ferme expérimentale de Gembloux Agro Bio-Tech et comporte 42 modalités et quatre répétitions (figure 177).



#### 42 Modalités

dose herbicide	Semi hâtif			Semi tardif		
	0	1/2	1	0	1/2	1
0 Passage	1	2	3	22	23	24
1 herse	4	5	6	25	26	27
2 herse	7	8	9	28	29	30
1 houe/herse	10	11	12	31	32	33
1 houe/herse +herse	13	14	15	34	35	36
therse automne +houe/herse printemps	16	17	18	37	38	39
therse automne	19	20	21	40	41	42

Bordure																																									
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40	41	42

Figure 177. Protocole expérimental 2022-2023 de l'essai de désherbage du froment.

Lors des années précédentes, les herbicides utilisés étaient séparés selon la famille (anti-graminées et anti-dicotylées) tandis que cette année 2022-2023, il a été décidé de rassembler les deux herbicides et ainsi réaliser un traitement à la fois sur les dicotylées et les graminées. Les produits utilisés ainsi que leurs doses restent par contre inchangés, c.-à-d. l'utilisation des produits commerciaux tels que l'Axial pour l'anti-graminées (50g/l pinoxaden et 12.5 g/l cloquintocet-mexyl) et le Biathlon duo pour l'anti-dicotylées (71.4% tritosulfuron et 5.4% florasulam).

Les années précédentes, il a été observé que le désherbage mécanique avait une efficacité qui restait plus faible que le désherbage chimique. Afin d'arriver à diminuer la nuisibilité des adventices et améliorer le désherbage, il a été choisi de tester la date de semis comme nouveau facteur. En effet, un semis plus tardif permet de diminuer la pression initiale en certaines adventices tel que le vulpin. L'effet de la date de semis sur le vulpin a déjà été démontré par Delphine Jaunard (Jaunard *et al*, 2013) dans un projet précédent de la Région wallonne. Par contre, l'effet bénéfique de la date de semis avec le désherbage mécanique n'a pas été testé. L'hypothèse est qu'un semis tardif permet :

- diminuer la pression initiale en adventices,
- d'améliorer l'efficacité du désherbage mécanique au printemps grâce à une intervention sur des stades plus jeunes d'adventices et
- de diminuer la nuisibilité des adventices présentes de par un développement relatif avec le froment plus faible.

## 6.2. Observations

L'ensemble des observations réalisées sur l'année culturale 2022-2023 est identique aux observations réalisées lors des deux dernières années (2020-2021 et 2021-2022) et ont pour objectif de caractériser le développement des adventices et de la céréale pendant la phase végétative, ainsi que de déterminer le rendement du froment au terme de la culture. Le relevé des adventices pour chaque modalité est réalisé au sein d'un quadrat de 0,25m<sup>2</sup> par parcelle. Il est réalisé par espèce d'adventices. Elles sont dénombrées ainsi que caractérisées. Pour ce faire :

- les relevés ont lieu, pour l'ensemble des modalités, après chaque opération de désherbage sur l'expérimentation ;
- une biomasse des adventices est réalisée à la floraison du froment ;
- un suivi des stades de développement du froment (échelle BBCH) et de son état sanitaire est effectué ;
- la mesure du rendement en grains est réalisée.

Les dates de désherbage ainsi que de comptage sont reprises dans le tableau 11

**Tableau 11. Semis, activités de désherbages et prises de données réalisées en 2022-2023.**

Date	Activités	stade froment	
17-10-22	Semis première date	250gr/m <sup>2</sup>	
14-11-22	Désherbage herse étrille automne ( semis hatif)	Pautomne	3 feuilles
21-11-22	Semis deuxième date	300gr/m <sup>2</sup>	
19-03-23	Comptage initial	T0	Tallage (tardif) plein tallage (hatif)
28-03-23	Désherbage chimique		Plein tallage
03-04-23	Deuxième comptage	T1	Plein tallage(tardif) redressement (hatif)
21-04-23	Désherbage herse étrille	P1	Redressement (tardif) 1er nœud (hatif)
05-05-23	Troisième comptage	T2	Elongation(tardif) dernière feuille (hatif)
12-06-23	Quatrième comptage et biomasse d'adventices	T3	Floraison

### 6.3. Résultats de l'année culturale 2022-2023

Les conditions météorologiques de l'automne 2022 ont permis de réaliser un passage de la herse étrille uniquement pour la première date de semis au stade 3 feuilles du froment (tandis que l'année d'avant celui-ci avait été réalisé, en prélevée). Par contre, pour le semis tardif, il n'a pas été possible de réaliser un désherbage à l'automne. En effet, à partir de la mi-novembre, il devient compliqué d'avoir des conditions séchantes permettant le désherbage mécanique.

Les conditions météorologiques très difficiles du début du printemps 2023 n'ont pas permis de réaliser les opérations de désherbage mécanique prévues au protocole. En effet, aucune fenêtre météorologique favorable (et de disponibilité) n'a été trouvée avant la fin avril (désherbage réalisé le 21/04). C'est la première fois depuis le début du projet (2019) qu'il n'est pas possible de réaliser le désherbage mécanique aux stades souhaités. Afin que cette année reste la plus riche possible en enseignement, une modification du protocole a été opérée. Le stade avancé du froment ne permettant plus d'utiliser la houe rotative, seule la herse étrille a été utilisée. Le nombre de passages de la herse étrille (0-1-2 passages) a été réalisé le même jour (le 21/04/2023) et non pas réparti dans le temps comme prévu initialement. Les modalités recevant deux passages de herse ont reçu le premier dans un sens et le second dans l'autre sens (mais toujours parallèlement à la ligne de semis).

En ce qui concerne la réalisation du désherbage chimique, celui-ci a pu être réalisé au stade plein tallage (fin mars).

#### 6.3.1. Évaluation des populations d'adventices

Les résultats sont issus de comptages systématiques (avant-après chaque opération de désherbage).

La réduction du nombre d'adventices a été calculée sur base des comptages systématiques afin de mesurer l'efficacité du désherbage et se formule comme suit :

$$\text{Réduction du nombre d'adventices}(\%)_t = \frac{Adv_{t-1} - Adv_t}{Adv_{t-1}} * 100$$

Où  $Adv_{t-1}$  est le nombre d'adventices avant l'opération de désherbage et  $Adv_t$  est le nombre d'adventices après l'opération de désherbage.

Une valeur de 100% indique donc que l'ensemble des adventices a été contrôlé par l'opération de désherbage tandis qu'une valeur de 0% signifie que le nombre d'adventices après l'opération est identique à avant. Une valeur négative signifie donc qu'il y a eu de nouvelles levées d'adventices entre deux comptages.

Toutefois, concernant la modalité de désherbage mécanique à l'automne, l'efficacité a été évaluée uniquement sur base du premier comptage en sortie d'hiver.

#### Flore adventice

La flore initiale de l'essai Sol-Phy-Ly est composée à la fois de graminées et de dicotylées. Les graminées sont représentées quasi exclusivement par du vulpin. Les espèces dominantes chez les dicotylées sont la véronique des champs, le coquelicot, la matricaire camomille, la renouée des oiseaux et le gaillet.

La pression moyenne de l'ensemble des espèces citées ci-dessus ainsi que leurs pourcentages relatifs dans la composition initiale de la flore sont présents dans le tableau 12

**Tableau 12. Composition initiale de la flore adventice.**

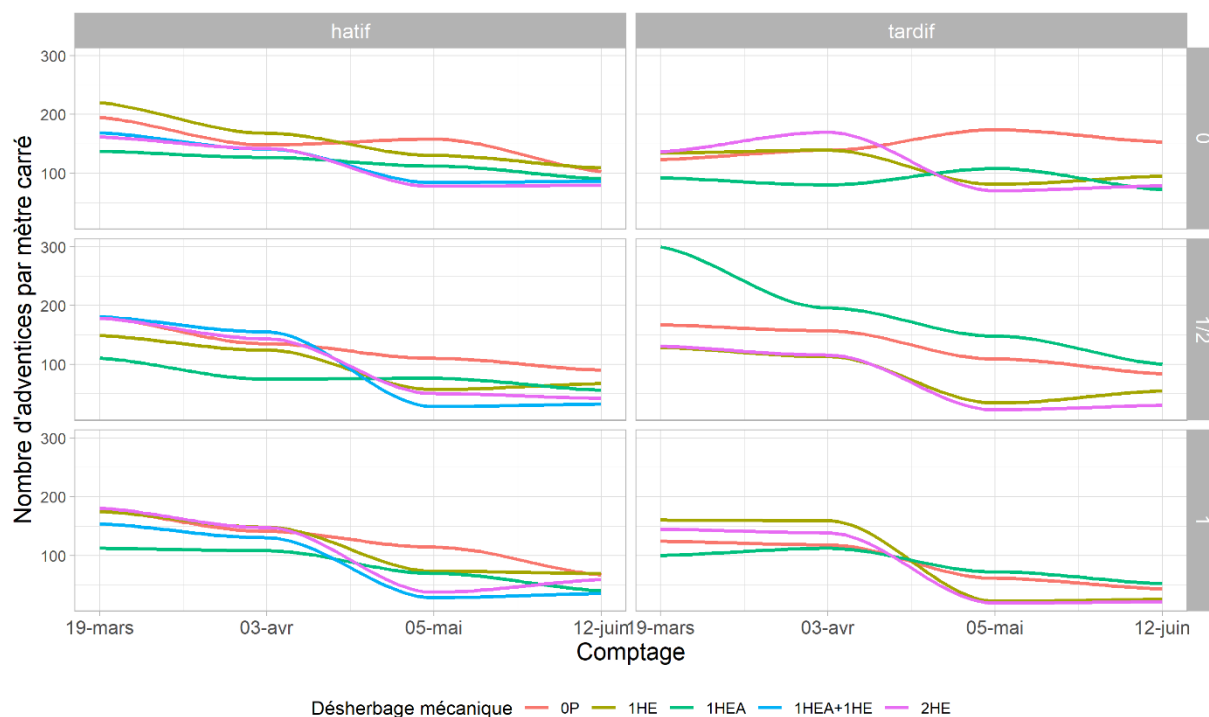
Nom Vernaculaire	Adventices/m <sup>2</sup>	Pourcentage
Véronique des champs	67	43.12
Coquelicot	29	18.39
Vulpin	27	17.47
Matricaire camomille	24	15.21
Renouée des oiseaux	3	1.99
Gaillet gratteron	3	1.76

La variabilité spatiale de la flore d'adventices au premier comptage était très importante avec une variation allant de 16 à 532 adventices par m<sup>2</sup>. Par contre, cette hétérogénéité suit un gradient gauche droite et est donc bien cernée par les différents blocs. (figure 178)

	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37
200	248	364	220	244	344	444	192	B	B	168	104	148	200	164	224	136	B	B	148	144	140	72	92	172	84	B	B	140	B	B	92	204	140	80	108
300	152	196	264	272	300	280	236	B	B	148	136	112	68	76	80	100	B	B	108	80	132	52	156	96	64	B	B	136	B	B	160	56	16	60	48
400	212	164	308	228	196	168	184	B	B	152	176	304	68	144	48	152	B	B	76	36	68	76	100	104	88	B	B	48	B	B	96	56	32	44	44
600	472	332	224	184	156	164	212	B	B	176	208	272	228	252	120	300	B	B	120	168	132	116	204	36	80	B	B	176	196	64	68	108	48	128	
700	532	464	316	136	148	224	188	B	B	120	236	296	300	160	148	100	B	B	80	112	180	120	276	200	120	B	B	140	140	40	40	56	108	216	
800	412	440	300	168	212	144	164	B	B	140	312	312	236	348	120	92	B	B	28	80	116	68	56	156	172	B	B	184	68	52	80	96	112	324	

**Figure 178. Distribution spatiale du nombre d'adventices au premier comptage.**

L'évolution du nombre d'adventices en fonction des différents traitements peut être observée sur la figure 179. De manière globale, une fois l'herbicide appliqué, le nombre d'adventices par m<sup>2</sup> a été réduit. Tandis que sans herbicides, les passages de herse semblent induire une diminution du nombre d'adventices plus importante en semis tardif. La parcelle non désherbée en semis hâtif semble avoir moins de nouvelles levées qu'en semis tardif.



**Figure 179. Tendence de l'évolution du nombre d'adventives en fonction du temps selon la date de semis, la dose d'herbicide et les opérations de désherbage mécanique.**

Une ANOVA sur un modèle mixte est réalisée sur chacun des pas de temps cités ci-dessus suivie d'une analyse post-hoc en réalisant un test de Tukey sur les moyennes marginales estimées. L'ensemble des analyses sont réalisées sur Rstudio avec le package *ggplot2*, *car*, *emmeans* et *lme4*.

En cas de non-respect de la normalité, une transformation est réalisée (log ou arcsin).

### 6.3.1. Efficacité du désherbage à l'automne

Le désherbage à l'automne n'a pu être réalisé que sur les modalités en semis hâtif. Celui-ci a été réalisé au stade trois feuilles du froment et non pas en prélevée comme durant l'année 2021-2022.

Aucun effet sur la population de dicotylées n'a été observé. Par contre, un effet significatif du passage de la herse à l'automne a été noté avec un nombre de graminées en sortie d'hiver deux fois moins élevé que sans aucun passage de herse (




tableau 13).



**Tableau 13. Nombre de graminées moyen/m<sup>2</sup> en sortie d’hiver selon les modalités de désherbage mécanique. 1HEA = un passage de herse à l’automne, 1HE= un passage de herse à l’automne, 0P = pas de passage, 2HE= deux passages de herse à l’automne. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.**

Désherbage mécanique	Nombre de graminées/ m <sup>2</sup>	Erreur standard	
1HEA	7.46	4.57	a
1HE	17.82	11.15	b
0P	22.29	13.96	b
2HE	22.56	13.44	b

### 6.3.1. Effet de la date de semis sur la pression initiale en adventices

Un effet très hautement significatif de la date de semis du froment sur la pression en adventices en sortie d’hiver a été observé. Cet effet a eu lieu sur les dicotylédones aussi bien que sur le vulpin. Le décalage de la date de semis a permis de diminuer d’environ 40% la pression en graminées (passant de 23 graminées/m<sup>2</sup> à 14 graminées/m<sup>2</sup>) et de 22% la pression en dicotylées. Le nombre moyen d’adventices pour les deux dates de semis sont repris dans le tableau 14

**Tableau 14. Nombre d’adventices moyen /m<sup>2</sup> en sortie d’hiver selon la date de semis et la nature des adventices. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.**

Date de semis	Nombre d’adventices/m <sup>2</sup>		
	Adventices total	Erreur standard	
tardif	138.13	31.94	a
hatif	177.27	31.94	b
	<b>Graminée</b>		
tardif	14.37	8.73	a
hatif	23.32	14.16	b
	<b>Dicotylée</b>		
tardif	114.53	24.18	a
hatif	142.87	24.18	b

### 6.3.2. Efficacité du désherbage de printemps

Au printemps, un désherbage chimique a eu lieu entre le pas de temps T0-T1. Le désherbage mécanique a été opéré entre le pas de temps T2-T1. Le premier pas de temps sera donc utilisé pour analyser l’effet du désherbage chimique et le pas de temps T2-T1 à la fois pour le désherbage mécanique et chimique.

#### 6.3.2.1. Efficacité du désherbage chimique en T0-T1

Un effet croisé du pourcentage de réduction du nombre d’adventices entre le désherbage chimique et la date de semis du froment a été observé. Aucune différence entre les modalités en semis hâtif n’a été observée tandis qu’en semis tardif la modalité sans herbicide montre un pourcentage de réduction négatif révélant une germination d’adventices (12%) durant cette période (figure 180). Cette germination

s'observe uniquement pour les dicotylées car aucun effet significatif n'a été noté sur la population de graminées.

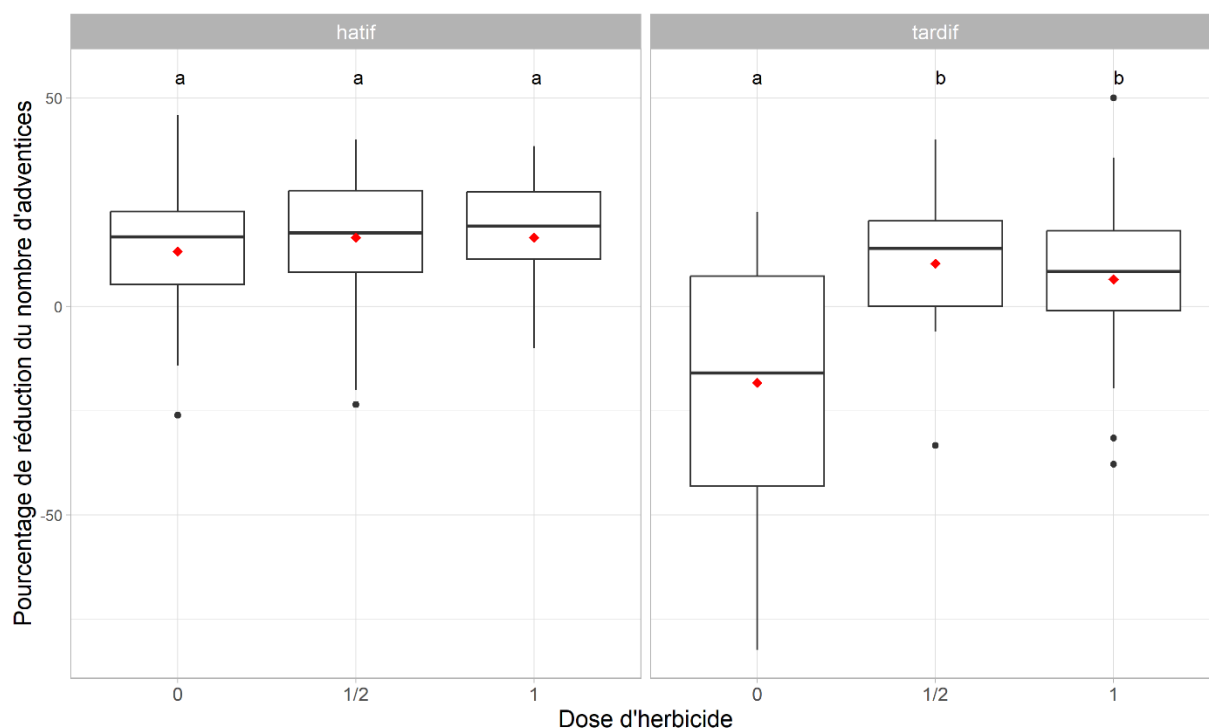


Figure 180. Pourcentage de réduction du nombre d'adventives entre T0 et T1 en fonction des modalités de désherbage chimique en semis hâtif et tardif. Les losanges rouges représentent les moyennes. Les modalités ayant des lettres identiques à de la même date de semis ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.

### 6.3.2.1. Effet du désherbage en T1-T2

Un effet additif des facteurs date de semis, herbicide, désherbage mécanique a été observé aussi bien sur la population de graminées que de dicotylées. Sans aucun traitement, une levée d'adventives est observée entre le pas de temps T1-T2 (figure 181). Comme illustré sur cette figure, le désherbage mécanique et chimique est amélioré par le décalage de la date de semis. Cette année, une augmentation de l'efficacité du désherbage chimique est observée quand il est couplé au désherbage mécanique. Les modalités de désherbages chimiques ont des moyennes significativement identiques en demi et pleine dose que ce soit sur la population de graminées et de dicotylées. La dose pleine a permis de réduire en moyenne (autre facteur moyenné) de 58% la population de dicotylées et de 62% la population de graminées (tableau 15).

Le décalage de la date de semis a engendré une meilleure efficacité du désherbage en permettant, de plus, de doubler l'efficacité du désherbage sur les graminées tandis qu'en dicotylées, cela a permis d'améliorer le désherbage d'un peu plus de 25%.

Aucune différence significative entre un et deux passages de herse n'a été observée sur la population de dicotylées (respectivement 56% et 65%). Par contre, la réduction du nombre de graminées est intermédiaire pour un passage (38%) et la plus forte pour deux passages (53%) (tableau 15).

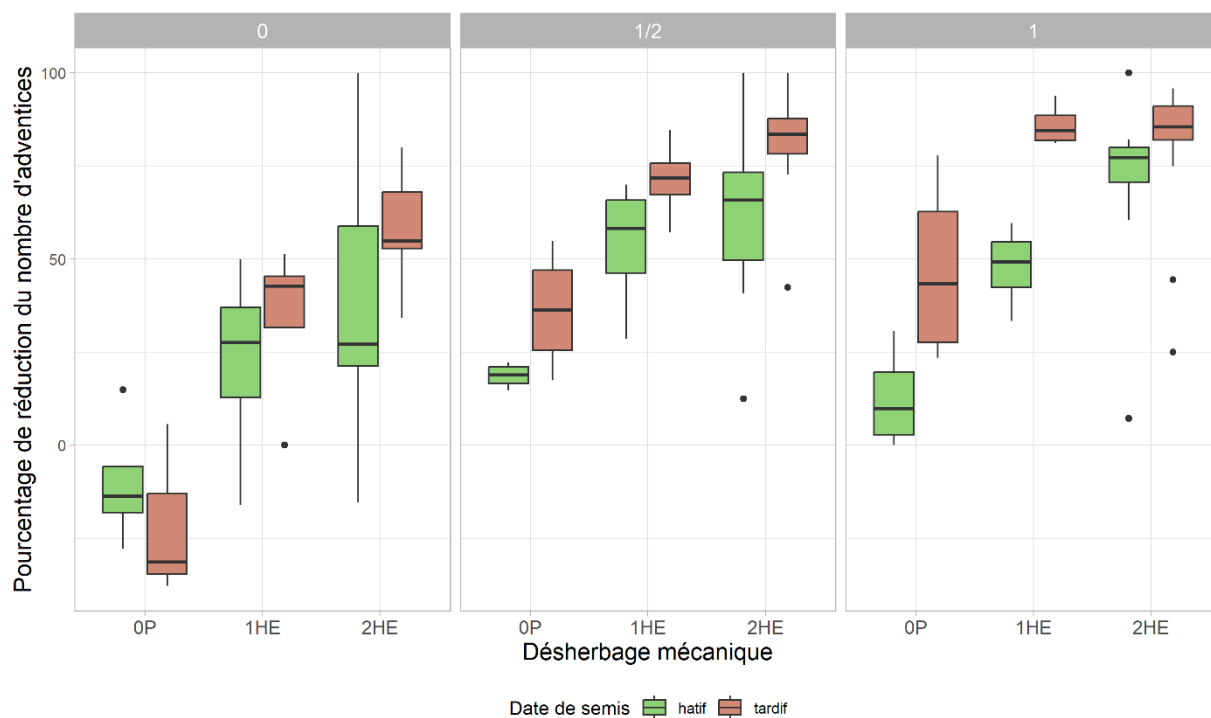


Figure 181. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices entre T1 et T2 en fonction de la dose d'herbicide, des modalités de désherbage mécanique et de la date de semis du froment.

Tableau 15. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices en fonction de la dose d'herbicide ou de la date de semis ou du désherbage mécanique sur la population de graminées et de dicotylées (moyenne et l'erreur standard en pourcentage)

	Pourcentage de réduction du nombre d'adventices (%)			
	Dicotylée		Graminée	
<b>Herbicide</b>				
0D	20.32	6.43 a	9.60	10.70 a
1/2D	55.05	6.36 b	39.34	9.95 b
1D	58.31	6.35 b	62.15	10.61 b
<b>Date de semis</b>				
hatif	37.87	6.01 a	20.31	8.72 a
tardif	51.25	6.04 b	53.75	9.78 b
<b>Désherbage mécanique</b>				
0P	12.76	6.71 a	19.70	11.26 a
1HE	55.50	6.64 b	38.32	11.59 ab
2HE	65.42	5.75 b	53.06	8.10 b

### 6.3.2.1. Effet post désherbage T2-T3

Entre T2 et T3, aucune opération de désherbage n'a été réalisée. Toutefois, les facteurs *date de semis* et *désherbage mécanique* étaient respectivement très hautement significatif et hautement significatif. Comme illustré à la figure 182, un semis tardif a engendré de nouvelles levées d'adventices (environ 30% de levée) tandis qu'en semis hâtif, le nombre d'adventices a eu tendance à légèrement diminuer (environ 30% de mortalité). Le passage de la herse étrille a, par le mouvement de terre occasionné, entraîné de nouvelles germinations. Tandis que sans désherbage mécanique, des mortalités d'adventices ont été observées (Figure 183).

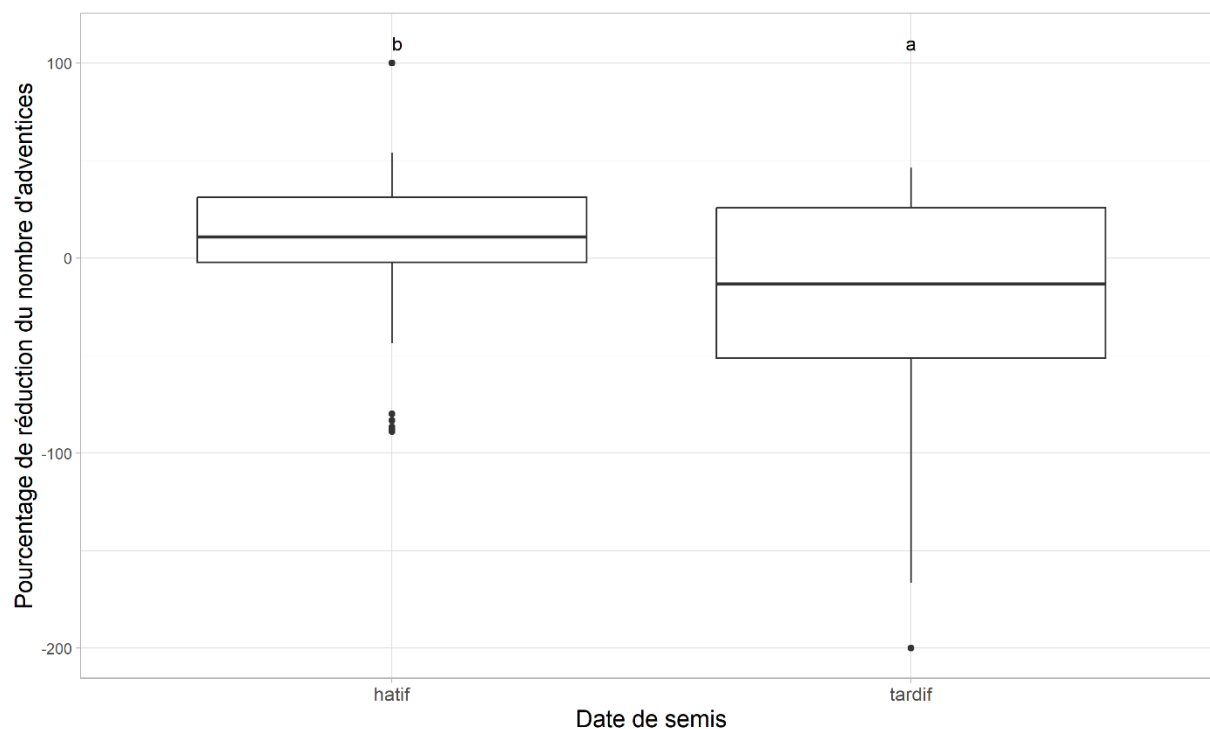
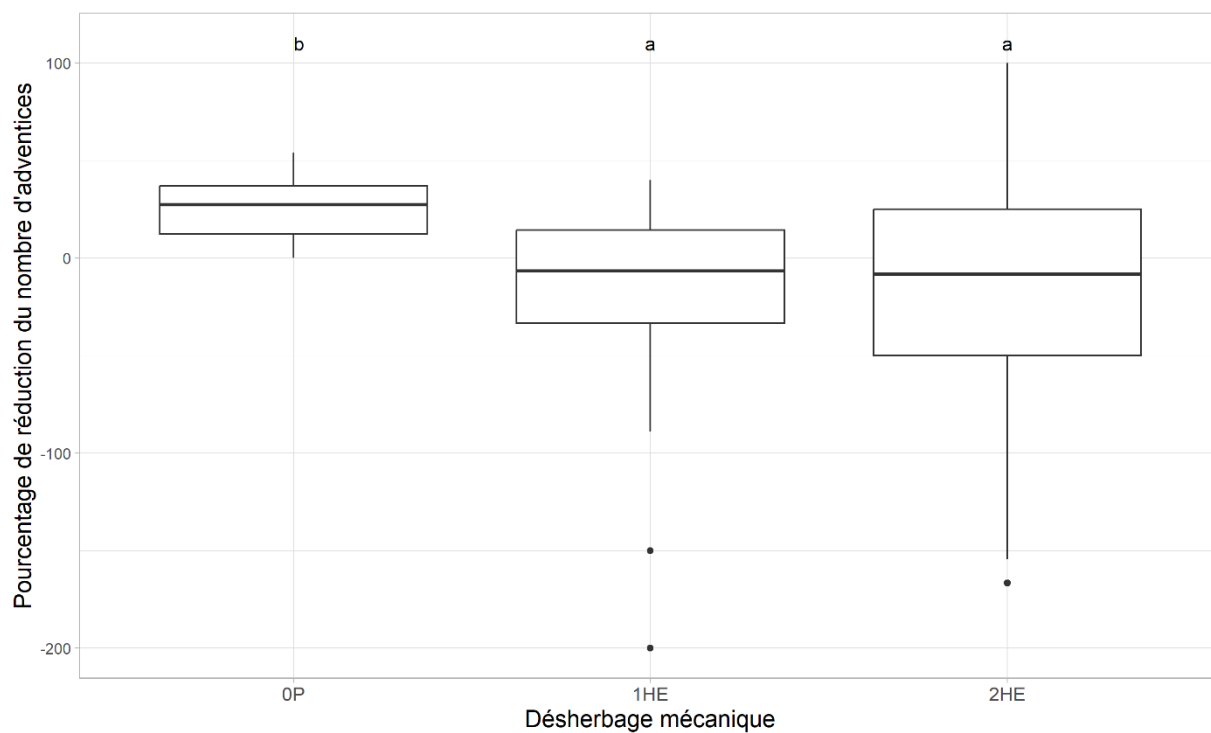


Figure 182. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices de type dicotylées entre T2 et T3 en fonction de la date de semis du froment. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.



**Figure 183. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices de type dicotylée entre T2 et T3 en fonction des modalités de désherbage mécaniques. Les modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.**

### 6.3.2.2. Effet global

Si l'on observe l'effet global sur le pas de temps T0-T2, celui-ci est proche de l'efficacité T1-T2 puisque cette année, l'ensemble des opérations de désherbage mécanique a été réalisé dans ce laps de temps. De plus comme démontré plus haut dans ce rapport, le désherbage chimique est devenu efficace dans le laps de temps T1-T2. Les effets observés sont donc les mêmes qu'en T1-T2. Toutefois, ce pas de temps plus large a confirmé la tendance de nouvelles germinations en semis tardif sans aucune opération de désherbage. Par contre, à contrario le désherbage mécanique couplé au chimique en semis tardif est plus efficace qu'en semis hâtif (figure 184)

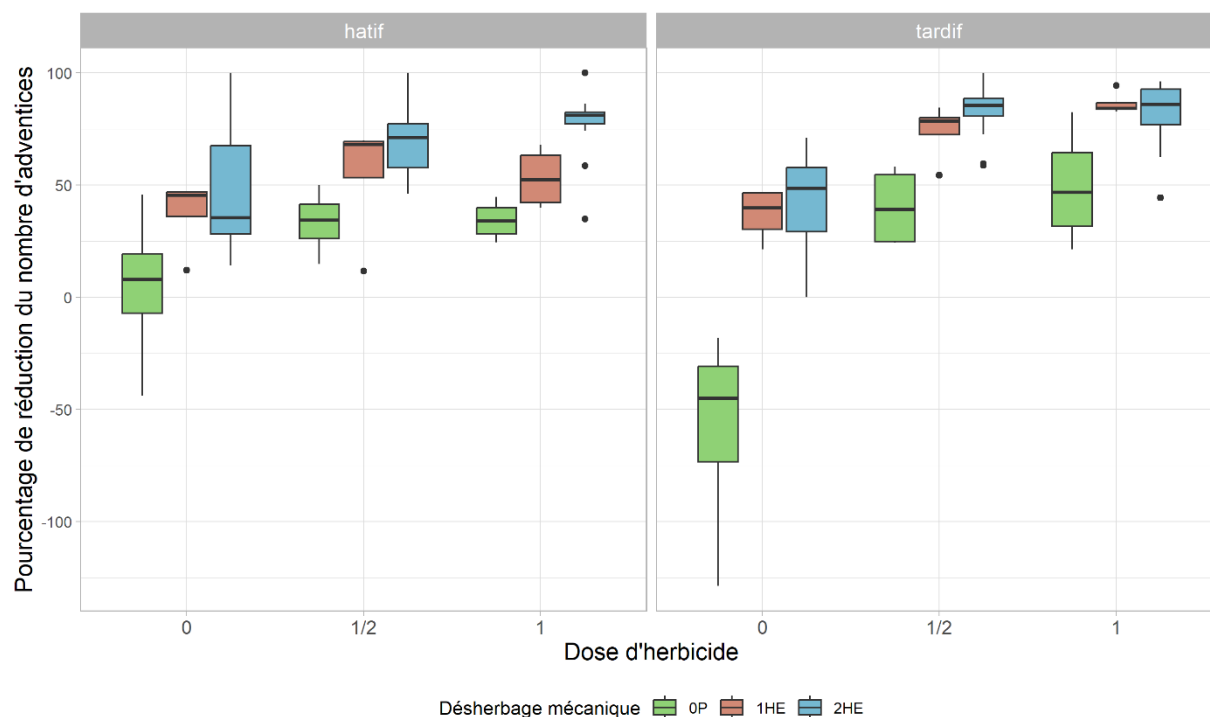
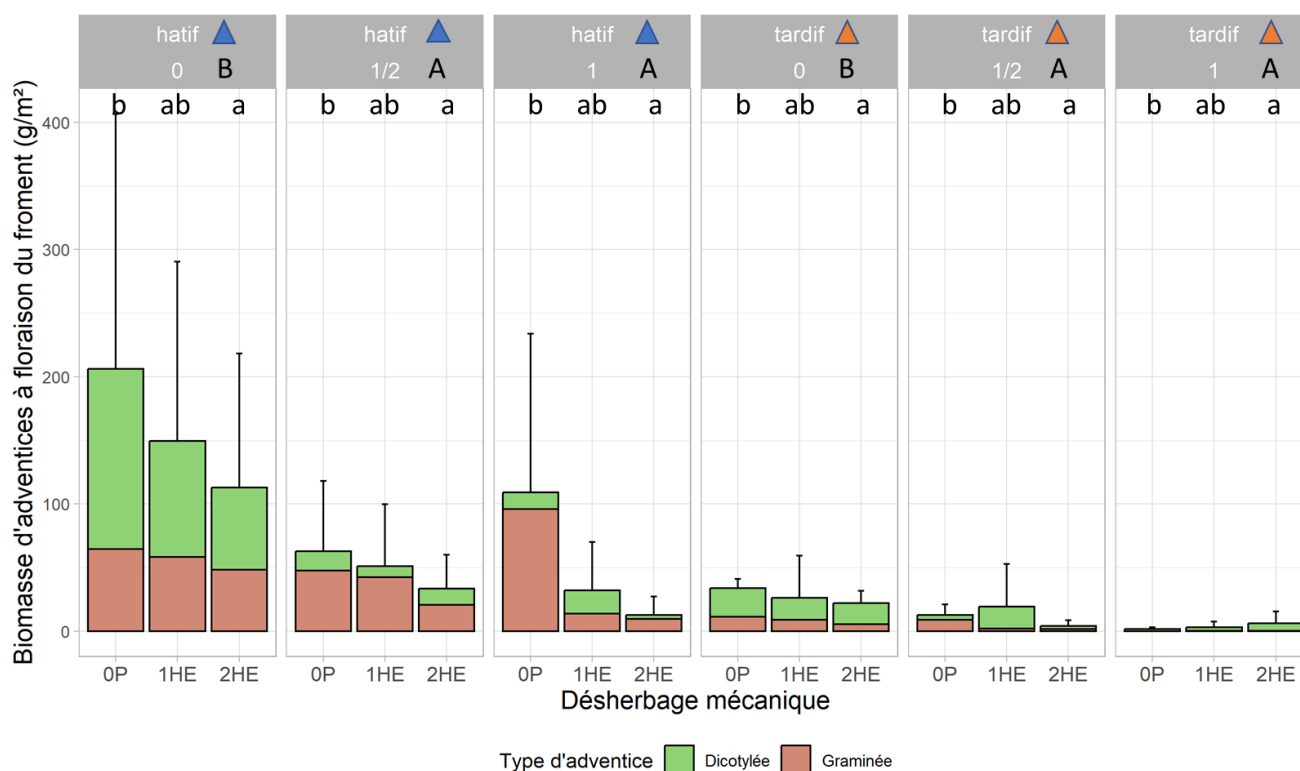


Figure 184. Pourcentage de réduction du nombre d'adventices entre T0 et T2 en fonction de la date de semis du froment, des doses d'herbicide et des modalités de désherbages mécaniques.

### 6.3.3. Effet sur la biomasse d'adventice

Tout comme pour la réduction du nombre d'adventices, un effet additif des trois facteurs a été observé. L'ensemble des modalités est repris dans la figure 185. La date de semis a en moyenne permis de passer d'une biomasse de 35.40g/m<sup>2</sup> en semis hâtif du froment à 6.25 g/m<sup>2</sup> en semis tardif du froment (moyenne autour des autres facteurs).

Le désherbage chimique a permis de passer de 42.55g/m<sup>2</sup> sans désherbage chimique à 11.78g/m<sup>2</sup> et 6.73g/m<sup>2</sup> pour respectivement une demi et une pleine dose (moyenne significativement identique). Le désherbage mécanique a une biomasse plus élevée sans désherbage, intermédiaire avec un passage et le plus faible avec deux passages avec respectivement une moyenne de 24.66, 14.62 et 9.73g/m<sup>2</sup>.



**Figure 185. Biomasse d'adventices à floraison du froment en fonction de la date de semis du froment, de la dose d'herbicide et des modalités de désherbage mécanique. Les combinaisons de modalités ayant des lettres minuscules identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. Les combinaisons de modalités ayant des lettres majuscules identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey. Les combinaisons de modalités ayant des triangles de couleurs identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.**

### 6.3.4. Effet sur le rendement

Comme illustré à la figure 186, on peut observer que la relation du rendement en fonction de la biomasse d'adventices est différente selon la date de semis. En effet, aucune régression n'est présente en semis tardif tandis qu'une régression négative est observée en semis hâtif du froment ( $R^2=0.54$ ). Une gestion plus forte de la flore adventices doit donc être de mise lorsque le semis est hâtif.

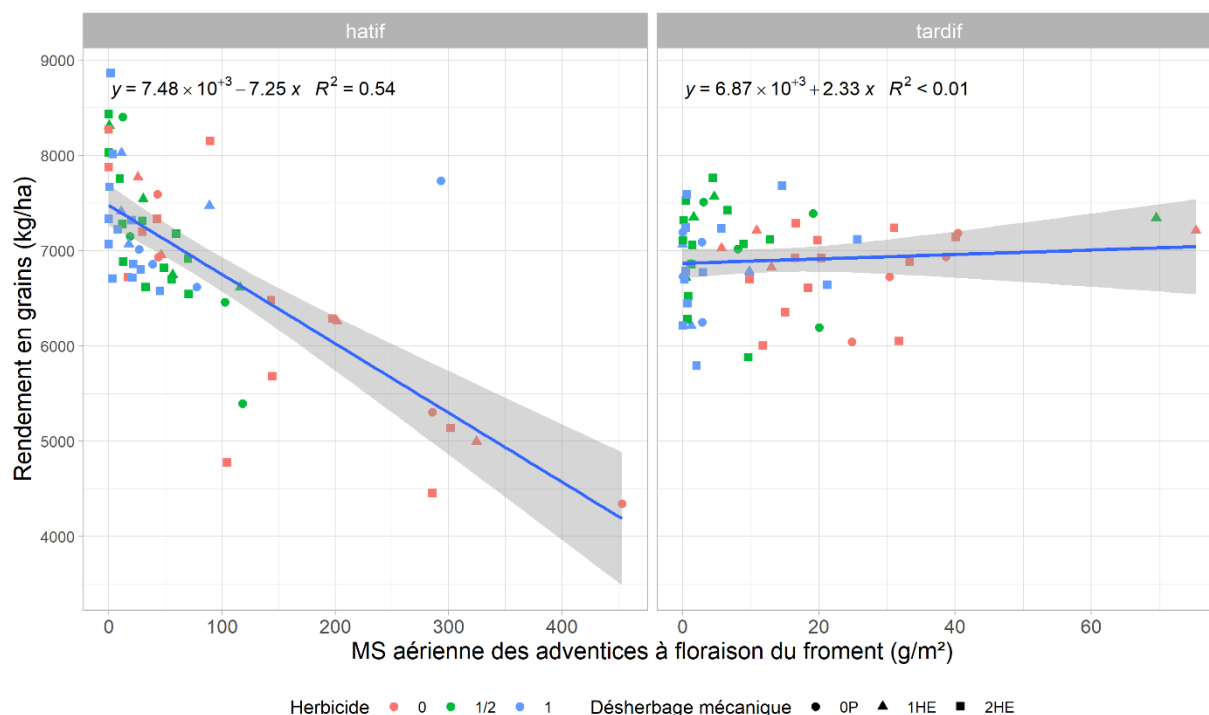
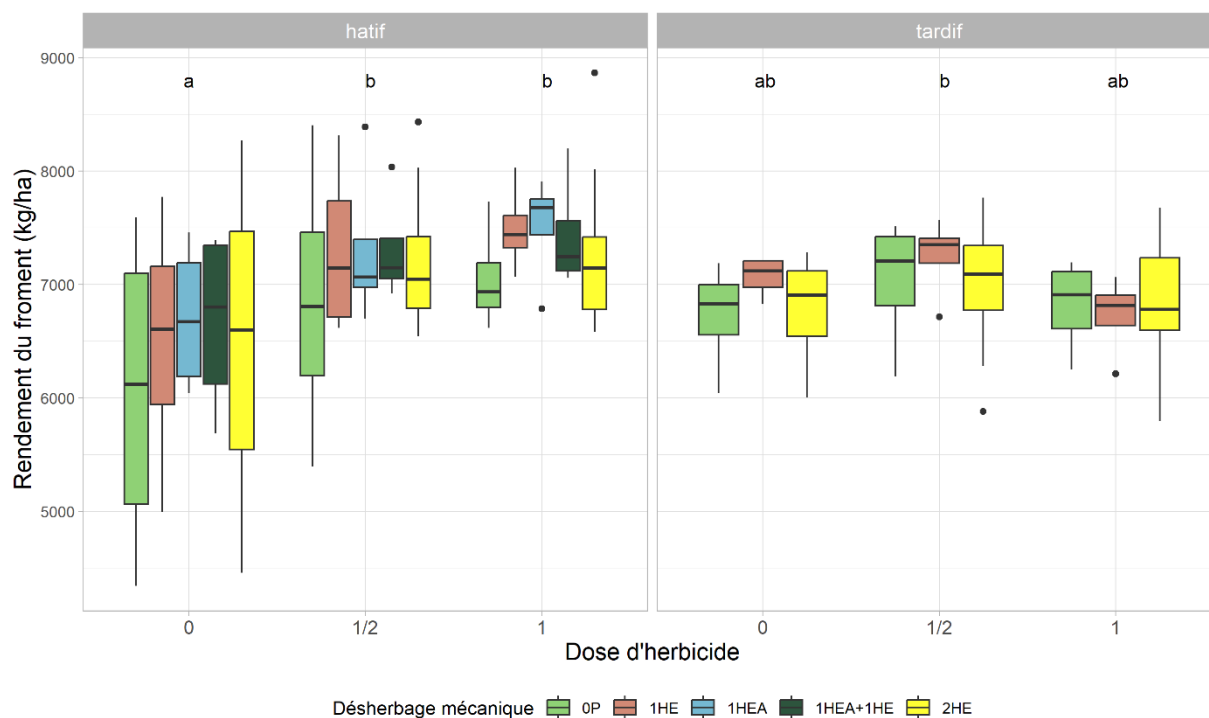


Figure 186. Rendement en grain à 15% d'humidité selon la biomasse en MS d'adventice à floraison du froment selon la date de semis du froment.

Si l'on regarde un peu plus en détail les résultats de la récolte 2023 (figure 187), il y a un effet croisé du désherbage chimique et de la date de semis. Le désherbage mécanique ne permet pas d'améliorer le rendement. Le rendement est le plus faible sans herbicide au semis hâtif tandis qu'il est intermédiaire en semi-tardif du froment sans herbicide ainsi qu'à pleine dose, et enfin le plus élevé en semis hâtif avec une demi et une pleine dose d'herbicide ainsi qu'en semi-tardif en demi-dose d'herbicide.





**Figure 187. Rendement du froment en fonction de la date de semis du froment, de la dose d'herbicide et des modalités de désherbage mécanique. Les combinaisons de modalités ayant des lettres identiques ont des moyennes statistiquement équivalentes au seuil de probabilité de 5% selon le test de Tukey.**

## 6.4. Discussion

Grâce à l'ajout du facteur *date de semis du froment*, l'année 2023 vient enrichir les connaissances des années précédentes du projet Sol-Phy-Ly.

Cette année se distingue par une météo compliquée au printemps. Cette météo froide et pluvieuse était peu propice au désherbage mécanique qui a dû être effectué fort tardivement et sans la houe rotative. Le début de printemps fort froid et venteux n'a pas été favorable non plus au désherbage chimique.

Cette année 2023 est aussi caractérisée par la présence de vulpin (présent qu'une année depuis le début de l'essai), ce qui nous permet d'apporter des réponses quant à l'utilisation de la herse pour gérer les graminées. La flore adventice présentait un très grand gradient dans la terre, gradient bien cerné par le facteur bloc. Il a donc été possible de tirer des conclusions fiables.

Tout d'abord, le passage de la herse étrille à l'automne est difficilement possible en Belgique : à cause de sa météo humide et de la durée du jour fort courte, peu de fenêtres existent pour parvenir à le réaliser. Toutefois en cas de semis hâtif, il y a plus de chance de trouver une fenêtre adéquate. Son passage semble utile uniquement si une pression en vulpin est présente. En effet, en sortie d'hiver, le passage de la herse à l'automne a permis de diminuer de plus de moitié la pression en vulpins. Par contre, la pression en dicotylées en sortie d'hiver est restée inchangée tout comme l'année 2021-2022 (herse en prélevée). Ce résultat ne signifie pas forcément que le passage n'a pas eu d'effet sur les dicotylées mais que la mortalité éventuelle a été compensée par de nouvelles levées durant l'automne.

En sol profond comme en Hesbaye, le décalage de la date de semis semble plus approprié. En effet, celui-ci offre plusieurs avantages :

- une pression initiale plus faible en graminées et dicotylées (de l'ordre de 40% pour les graminées et 20% pour les dicotylées) ;
- une augmentation de l'efficacité du désherbage mécanique et du désherbage chimique. Cette amélioration s'explique par un développement des adventices plus faible lors de l'intervention du désherbage. Celles-ci sont donc plus vulnérables et plus sensibles aussi bien au désherbage mécanique que chimique ;
- une diminution drastique de la biomasse d'adventices (plus de 4x moins pour les modalités sans désherbage). Les adventices semblent avoir en relatif moins bien poussé que le froment durant l'hiver. Cette différence de croissance a permis d'avoir un froment plus concurrentiel qu'en semis précoce et donc de limiter le développement de biomasse ;
- un rendement non corrélé à la pression en adventices par une pression initiale plus faible et un froment plus compétitif que les adventices ;
- un rendement significativement identique à un semis hâtif.

Par contre, sans aucune opération de désherbage, un semis tardif entraîne des levées d'adventices pendant tout le printemps. Ces levées s'expliquent par une couverture du sol plus faible au printemps qu'un semis hâtif. La lumière peut donc atteindre le sol et engendrer de nouvelles levées. Toutefois, ces levées printanières n'ont pas d'impact sur le rendement du froment comme ceci a été démontré grâce aux années antérieures du projet Sol-Phy-Ly (voir article de vulgarisation Livre Blanc).

Malgré une application tardive de la herse étrille au printemps, celle-ci a su avoir une efficacité de l'ordre de 50% grâce à un réglage très agressif de l'outil. De plus, il n'y avait pas une grosse croute de battance cette année. La herse a donc travaillé convenablement sur toute la surface du sol sans être coincée dans des chemins préférentiels. Une application plus précoce reste à conseiller si la météo le permet puisque la herse est plus efficace sur des adventices au stade jeune. On peut supposer que l'efficacité du désherbage en semis tardif aurait été beaucoup plus efficace si le passage de herse avait pu avoir lieu durant le mois de mars sur des adventices beaucoup moins bien implantées.

La herse étrille a aussi permis de diminuer la pression en graminées. Toutefois, gérer les graminées uniquement par la herse étrille semble compliqué à cause d'une morphologie fort proche du froment et donc une difficulté d'avoir une bonne sélectivité de l'outil. Par contre, la combinaison de deux leviers différents (dates de semis et désherbage mécanique) semble être une bonne solution pour diminuer l'utilisation de produits phytopharmaceutiques. Comme démontré les autres années, deux passages de herse (ici réalisé le même jour) ne sont pas utiles pour lutter contre la flore dicotylées. Par contre, en cas de présence de graminées, un deuxième passage semble légèrement améliorer l'efficacité du désherbage.

Le désherbage chimique a été moins bon que les années précédentes. Ce manque d'efficacité s'explique par la météo froide et peu propice à une bonne efficacité de l'herbicide. Celui-ci a souvent permis de stopper la croissance de l'adventice, mais n'a pas forcément permis de la tuer. Cela explique pourquoi cette année, l'application de la herse a eu un effet positif supplémentaire et a permis d'achever les adventices déjà atteintes par l'herbicide. Lors d'un printemps froid comme celui du printemps 2023, combiner une demi-dose d'herbicide avec un unique passage de herse étrille semble une bonne solution pour diminuer l'utilisation des herbicides.

## 6.5. Conclusion

Malgré la météo du printemps peu propice au désherbage, l'année 2023 a permis de tirer de nouveaux enseignements importants concernant la gestion de la flore adventice.

Cette année a mis en évidence l'importance d'une gestion IPM (integrated pest management). En effet si l'on veut réussir à diminuer l'utilisation de produits phytopharmaceutiques, il est important de combiner un ensemble de leviers.

Le premier objectif est d'arriver à diminuer la pression initiale en adventices. Pour ce faire, les leviers tels que la rotation de culture, le labour ou encore, comme redémontré dans ce rapport, le décalage de la date de semis sont efficaces. De plus, la combinaison du levier *date de semis* et *désherbage mécanique* a montré un effet synergique, puisque le décalage de la date de semis, en plus de diminuer la pression initiale, a amélioré l'efficacité du désherbage mécanique et chimique. Si un semis tardif est réalisé, une absence d'application d'herbicide peut être envisagée sans aucun impact sur le rendement. Suite à ces résultats et dans un but de diminution d'usage des produits phytopharmaceutiques, le conseil pour une gestion de la flore adventice est de réaliser un semis tardif en froment suivi au printemps d'un passage unique de herse étrille. Si toutefois la pression en adventices est forte en sortie d'hiver, le coupler à une demi-dose d'herbicide est une technique prometteuse. Par contre, si un semis hâtif du froment a été réalisé et que la pression en adventices est forte, il semble difficile de se passer du désherbage chimique sans conséquence directe sur le rendement.

## 7. Diffusion des enseignements de cette convention de recherche

---

Comme prévu dans le programme d'activités de cette convention de recherche, les enseignements ont fait l'objet de plusieurs diffusions.

### 7.1. Livre Blanc

Une communication écrite dans le Livre Blanc des céréales de février 2023 intitulée : Le désherbage mécanique est-il une option en culture de céréales conventionnelle ? a été réalisée.

<https://www.livre-blanc-cereales.be/wp-content/uploads/2023/03/2023-02-4.-Perspectives.pdf>

### 7.2. Phloème

Un poster intitulé « Contrôle des adventices en céréales tout en réduisant l'utilisation de produits phytopharmaceutiques : potentiel et limites » a été présenté lors du congrès Phloème organisé par Arvalis à Paris. Un article a été publié dans le livre du congrès.

#### **Résumé de la communication**

La volonté de l'union européenne de réduire l'utilisation de produits phytopharmaceutiques dont les herbicides conduit à repenser les stratégies de gestion de la flore adventice en culture. Parmi les leviers possibles avec le développement technique de nouveaux outils, le désherbage mécanique refait surface, permettant notamment d'être utilisés en culture céréalière. Dans ce contexte, un essai testant différentes stratégies de désherbage sur la culture de blé tendre (*Triticum aestivum* L.) a été implanté durant 3 années consécutives. Différents outils de désherbage mécanique (herse étrille et houe rotative) ont été couplés à du désherbage chimique (antidicotylédones et anti-graminée à zéro ou pleine dose). Le désherbage mécanique n'a pas permis de réduire de manière significative les populations de monocotylédones. Sur une flore de type dicotylédone, la modalité de désherbage mécanique couplant un passage de houe rotative à deux passages de herse étrille semble engendrer le meilleur pourcentage de réduction du nombre d'adventices (-30 % comparé au témoin sans passage (+12%)). Toutefois elle n'atteint pas l'efficacité du désherbage chimique, réduisant de 55 à 85% la population d'adventices. D'autres combinaisons de désherbages chimiques et mécaniques seront testées à l'avenir. L'objectif étant d'améliorer l'efficacité des leviers mécaniques afin de chercher à pouvoir se passer, à termes, des herbicides de type antidicotylédones.

<https://orbi.uliege.be/bitstream/2268/302164/1/Contr%C3%B4le%20des%20adventices%20en%20c%C3%A9r%C3%A9ales%20tout%20en%20r%C3%A9duisant%20l%27utilisation%20de%20produits%20phytopharmaceutiques.pdf>

### 7.3. Journée PROTECT'eau

Une séance d'information sur l'essais de désherbage mécanique envers le personnel de PROTECT'eau a eu lieu le 17 avril 2023. Une visite des essais a eu lieu pour sensibiliser à la réduction d'herbicides. De plus, un atelier de reconnaissance d'adventices a été réalisé afin d'enrichir les connaissances des conseillers de PROTECT'eau.



### 7.4. Article under-review Weed Research

Abstract:

Mechanical weeding is a promising way to deal with EU objectives to reduce by 50% the pesticides use, hence herbicides. In particular, harrowing is one of the possibilities existing to reduce herbicide use in cereals, such as winter wheat. Six years of data collected in temperate area (Belgium) were analysed. The dynamic of weeds density was measured between the end of winter and wheat flowering. Weed control (WC) were derived to further investigate the potential of combining herbicides and weed harrowing performed at different growing stages. Furthermore, we proposed to separate weeds in three categories: “old weeds” - i.e. weeds whose development is synchronous with wheat and observed after winter - “new weed emergences” and “new weed species” - i.e. namely new weed individuals or species who appeared during spring season. Older weeds were found to exhibit the most negative correlation with yield (-0.41 at wheat flowering). New species, emerging after spring harrowing, never had any significant impact on yield. WC derived from “old weeds” category, showed an additive effect of harrowing and chemical weeding. The highest WC (95%) was found under the combination of mechanical (3 passes of harrow) and chemical weeding. WC reached 69% when the sole herbicide was used, while it ranged between 65 and 86% when the sole mechanical weeding is applied. Globally, no statistical differences between 1, 2 or 3 passes of harrow were observed. We concluded that, in some cases, it's possible to use only one pass of harrow to control weeds.

### 7.5. Congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides

Une communication orale intitulée : Utilisation des résultats du projet Sol-Phy-Ly pour une proposition de recommandation d'usage a été faite par Alodie Blondel lors du 51<sup>e</sup> congrès du Groupe Français de recherche sur les Pesticides qui s'est tenu à Paris du 31 mai au 2 juin 2023.

## Résumé de la communication

La préservation de la ressource en eau souterraine est un enjeu important pour un approvisionnement en eau potable de bonne qualité. La contamination des eaux souterraines n'étant visible qu'après de nombreuses années, il est nécessaire d'anticiper le flux de produits phytopharmaceutiques (PPP) pouvant les atteindre.

C'est avec cette ambition que le projet Sol-Phy-Ly a été mis en place en 2018. En effet, les objectifs de ce projet sont d'évaluer le devenir des PPP en plein champ en fonction des pratiques culturales dans le but de contribuer à une meilleure compréhension (i) de la dégradation des PPP dans les sols, en condition réelles de plein champ et (ii) du flux de PPP vers les eaux souterraines (Vandenberghé et al., 2022).

Dans le cadre de ce projet, huit parcelles limoneuses sont suivies. Quatre parcelles font partie du domaine expérimental de Gembloux Agro-Bio Tech et quatre sont des parcelles exploitées par des agriculteurs dans une région de grandes cultures. Sous chacune de ces parcelles, un lysimètre est installé depuis plus de 10 ans. Les concentrations en PPP dans les eaux de percolation et dans le sol à l'aplomb des lysimètres sont suivies à des pas de temps réguliers en fonction des traitements.

De ce fait, par matière active, nous disposons de répétitions d'observations 'apports PPP – analyses PPP' dans le sol et dans les eaux. Pour chacun des PPP suivis, l'évolution de la concentration dans le sol au cours des semaines, des mois, voire des années qui suivent son application a été examinée par rapport à la quantité initiale apportée. Un bilan entre la/les quantité(s) appliquée(s) lors du traitement et la quantité collectée à la base des lysimètres a également été réalisé.

L'expérience acquise a ainsi permis de proposer la possibilité de doser des résidus de PPP dans les sols comme indicateur d'usage en termes de stock de PPP dans le sol en fonction de l'ancienneté du traitement (semaine, mois ou année). Une première application de cet indicateur est en cours via la mise en place d'une Mesure Eau Captage (MECap). Ce programme, sur base volontaires, rémunère les agriculteurs dans les aires d'alimentation de captages où une contamination par un ou plusieurs PPP a été mesurée.

Un des points du cahier des charges de cette mesure est l'abandon, en culture de maïs, de l'utilisation de produits à base de terbuthylazine, S-métolachlore, diméthénamide-P, pendiméthaline et flufénacet. En effet ces molécules ou leurs métabolites ont été retrouvés en concentrations supérieures aux normes de potabilisation dans des captages ou ont été identifiées dans la liste des molécules présentant un risque élevé de transfert vers les nappes selon le rapport INDIC'eau (Durenne et al., 2022).

Le contrôle du respect du cahier des charges sera réalisé par des analyses de sol et comparaison au référentiel proposé par Sol-Phy-Ly.

Mots-clés : Lysimètre, eau souterraine, services environnementaux, protection des captages, PSE paiement pour service environnementaux. Le projet Sol-Phy-Ly bénéficie du soutien financier du Service Public de Wallonie.

Un article, intitulé : Validation d'une méthode d'analyse du glyphosate dans le sol et suivi de son devenir en plein champ en fonction des pratiques culturales, a été publié dans les actes du congrès du 50<sup>e</sup> congrès du GFP et est disponible en ligne : [http://www.gfpesticides.org/bdd\\_fichiers/6229a3c25d890f2c20e6f33b607b25b1de367380b19.pdf](http://www.gfpesticides.org/bdd_fichiers/6229a3c25d890f2c20e6f33b607b25b1de367380b19.pdf) , p 280 à 290.

## 8. Conclusions

---

L'année 2022-2023 est la deuxième des trois années de la seconde triennale du projet Sol-Phy-Ly qui ambitionne de contribuer à :

- l'évaluation des flux de produits phytopharmaceutiques (PPP) par lixiviation en plein champ dans les sites équipés de lysimètres;
- la mise au point de méthodes en laboratoire pour le dosage de matières actives (y compris métabolites);
- l'évaluation de l'impact des pratiques culturales (gestion des résidus de récolte) sur la dégradation des matières actives par le sol et leur flux vers les eaux souterraines ;
- la proposition de recommandations en ce compris l'évaluation environnementale du glyphosate et
- la proposition d'alternatives.

Le partenaire Gembloux Agro-Bio Tech « Sol » a ainsi pu collecter et préparer les échantillons d'eau et de sol (prélevés à Gembloux et en Hesbaye) en vue de leur analyse par le partenaire CRA-W. En outre, il a assuré la coordination du projet et l'interprétation agronomique des résultats analytiques.

Enfin, le partenaire Gembloux Agro-Bio Tech « Phytotechnie » a mis en œuvre une nouvelle expérimentation dédiée à la recherche d'alternatives au désherbage chimique des céréales et a assuré le suivi phytotechnique de la plateforme expérimentale *Sol Résidus*.

Au cours de cette cinquième année, l'accent a principalement été mis sur l'intégration des résultats d'analyses (sol et eau) réalisées tant par le CRAW (depuis l'automne 2018) que précédemment, par l'ISSEP et la SWDE.

Dans ce cadre, l'objectif a été de mettre en relation les apports (pulvérisation), stocks (sol) et flux (eau) de PPP dans des unités ( $\text{g}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) qui permettent cette comparaison. Trente-deux matières actives et plusieurs métabolites ont fait l'objet de cette analyse.

Le fil conducteur était d'observer le devenir de ces PPP dans le sol quelques semaines, quelques mois et quelques années après l'apport dans la perspective d'une évaluation de l'analyse de sol en tant qu'indicateur d'usage de PPP. En parallèle, le flux via lixiviation a également été mis en relation avec les quantités apportées et les stocks dans le sol.

Une diversité de comportement (persistance, lixiviation) a pu être observée dans les trois « familles » de PPP (insecticides, fongicides et herbicides) : certaines matières actives sont rapidement (quelques semaines) métabolisées alors que d'autres sont encore bien visibles plusieurs années après l'apport.

En matière de lixiviation, seuls quelques herbicides présentent des caractéristiques propices à un flux vers les eaux souterraines.

Enfin, en matière de désherbage des céréales, les résultats des expérimentations croisées 'chimique et/ou mécanique' ont à nouveau mis en évidence un intérêt pour une combinaison des deux techniques (réduction de dose d'herbicide et traitement mécanique). L'acquisition d'un nouvel outil (houe rotative) a ouvert de nouvelles combinaisons de mise en œuvre.

## 9. Programme d'activités 2023-2024

---

### 9.1. Workpackage 2 : « parcelles en Hesbaye »

Les contacts seront entretenus avec les agriculteurs exploitant ces parcelles afin d'enregistrer les traitements phytosanitaires réalisés. De plus, des échantillons de sol et d'eau seront prélevés aux moments opportuns en vue du dosage des substances actives et métabolites.

### 9.2. Workpackage 3 T1 « Sol-Résidus »

Vu la fin de la convention au printemps 2024, il n'est pas prévu de mettre en place une nouvelle expérimentation début 2024. Les traitements phytosanitaires réalisés jusqu'à cette date seront enregistrés dans la perspective d'une suite du monitoring de la lixiviation via les lysimètres de cette plateforme expérimentale originale.

### 9.3. Workpackage 3 T2 « Désherbage mécanique »

Compte tenu de la fin de la convention au printemps 2024, voire de la fin du financement en janvier 2024 vu les indexations salariales non ajustées dans le budget de Sol-Phy-Ly, il n'est pas prévu de mettre en place une nouvelle expérimentation.

### 9.4. Workpackage 4 : Développement de méthodes d'analyse et analyse des échantillons

Vu la fin de la convention au printemps 2024, il n'est pas prévu de développer de nouvelles méthodes analytiques.

Des échantillons d'eau et de sol seront prélevés et analysés jusqu'à la fin du printemps 2024.

### 9.5. Workpackage 5 : communication

- Suite aux résultats des dernières années concernant le désherbage en céréales, un article scientifique a été soumis dans la revue scientifique *Weed Research* avec comité de lecture et se trouve actuellement en « under review ».
- Il est proposé de réaliser un deuxième article de vulgarisation concernant le désherbage en céréales dans le livre blanc de février 2024.
- Suite au résultat sur la flore adventice de l'année 2021-2022 sur Sol-Residus, un article scientifique est en cours de rédaction.



## 10. Perspectives post 2024

---

Les parcelles Sol Résidus de Gembloux Agro-Bio Tech sont des outils précieux pour expérimenter et suivre de nouvelles molécules, encore peu connues et peu utilisées mais en passe de le devenir.

Afin d'utiliser encore cet outil qui a prouvé son intérêt, nous pensons qu'il serait intéressant de pouvoir continuer à suivre plus longuement des molécules méconnues comme par exemple le méfentrifluconazole ou encore les SDHI dont l'usage se développe et qui sont sujet à controverse vu leur rémanence dans le sol.

De plus, il serait extrêmement intéressant de pouvoir focaliser notre attention sur les métabolites non encore suivis de PPP dans les eaux, comme le flufenacet ESA. En effet les métabolites sont les molécules qui posent le plus de problèmes dans les eaux mais ce sont aussi celles qui sont le moins bien suivies car elles sont difficiles à analyser. Pouvoir développer une ou des méthodes dédiées à des métabolites pertinents et/ou des métabolites de nouvelles molécules puis assurer le suivi de ces métabolites dans les eaux de percolation de nos lysimètres permettra vraiment d'anticiper les risques de pollution des eaux souterraines et donc les risques pour l'approvisionnement en eau potable.

L'essai de désherbage en froment d'hiver nous a permis de tirer une multitude d'enseignements. Il serait intéressant d'élargir l'expertise à d'autres cultures. La Région wallonne, avec la mise en place de la nouvelle PAC, favorise l'implantation de cultures protéagineuses et de diverses « petites cultures » cultivées en pure ou en associé. Ces aides sont reprises sous l'aide de soutien couplé aux cultures de protéines végétales et sous l'éco-régime culture favorable à l'environnement. De plus, la Région wallonne affirme la volonté de réduire l'utilisation de PPP avec son éco-régime « réduction d'intrant », qui interdit l'application d'une liste de produits phytopharmaceutiques.

Par contre, un grand nombre d'agriculteurs n'osent pas faire le pas d'adhérer à ces aides de par, entre autres, une difficulté de lutter contre les adventices. En effet, de nombreuses « petites cultures » ont très peu de molécules agréées (ex : le tournesol) rendant la culture compliquée.

Si la Région wallonne désire que ces trois aides citées ci-dessus soient adoptées par les agriculteurs, il est important d'établir des itinéraires techniques de désherbage mécanique dans ces petites cultures de printemps. Il serait intéressant de mettre en place un essai sur le désherbage mécanique pour différentes cultures de printemps (orge de printemps, avoine, tournesol, protéagineux, ...) en pur, mais aussi en associé (l'association réduit souvent la liste des PPP utilisables).

## 11. Bibliographie

---

Actualisation des données et des indicateurs pesticides en vue de la présentation dans les rapports sur l'état de l'environnement wallon Applied microbiology – Phytopathology (ELIM-ELI-UCL) Earth and Life Institute Université catholique de Louvain. 2015. 139 pages [https://www.crphyto.be/sites/default/files/kcfinder/files/CRP\\_5\\_CORDER\\_ELIM\\_ELI\\_UCL\\_2015-1\(2\).pdf](https://www.crphyto.be/sites/default/files/kcfinder/files/CRP_5_CORDER_ELIM_ELI_UCL_2015-1(2).pdf)

Bento C., Yang X., Gort G., Xue S., van Dam R., Zomer P., Mol H., Ritsema C., Geissen V., 2016, Persistence of glyphosate and aminomethylphosphonic acid in loess soil under different combinations of temperature, soil moisture and light/darkness, *Sci Total Environ* 572: 301-311.

CORDER asbl, Comité Régional Phyto et Applied microbiology – Phytopathology (ELIM-ELI-UCL), 2017. Estimation quantitative des utilisations de produits phytopharmaceutiques par les différents secteurs d'activité. 169p.

Direction de l'Etat Environnemental, 2017. Rapport sur l'état de l'environnement wallon 2017. 368 p. <http://etat.environnement.wallonie.be/home.html>

Ellegaard-Jensen, L., Horemans, B., Raes, B. et al., 2017. Groundwater contamination with 2,6-dichlorobenzamide (BAM) and perspectives for its microbial removal. *Appl Microbiol Biotechnol* 101: 5235. <https://doi.org/10.1007/s00253-017-8362-x>

EU SANTE/11813/2017 Analytical quality control and method validation procedures for pesticides residues analysis in food and feed. [https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides\\_mrl\\_guidelines\\_wrkdoc\\_2017-11813.pdf](https://ec.europa.eu/food/sites/food/files/plant/docs/pesticides_mrl_guidelines_wrkdoc_2017-11813.pdf) (Access on September 20, 2018)

Gustafson D.I., 1989. Groundwater Ubiquity Score: a simple method for assessing pesticide leachability. *Environ. Toxicol. Chem.* 8, 339-357

Jaunard D., Monty A., Mahy G. et Bodson B., 2013. La lutte intégrée contre les mauvaises herbes, Livre Blanc « Céréales » – Février 2013, <https://www.livre-blanc-cereales.be/wp-content/uploads/2016/08/Dynamique-des-populations-dadventices-et-contr%C3%B4le.pdf>

SPW (2019). Etat des nappes d'eau souterraine de Wallonie. Edition : Service public de Wallonie, Belgique. Dépôt légal **D/2019/11802/08** <http://environnement.wallonie.be/de/eso/atlas/>