

CSDM d'Hardivillers

Bilan hydrique



5 bis rue de Verdun
80710 QUEVAUVILLERS
Tél : 03 22 90 33 90
Fax : 03 22 90 33 99
Courriel : eqs@wanadoo.fr
Web : www.allianceverte.com

Objet du dossier

Comparer les données de production de lixiviats déduites du calcul avec les données sur la production mesurée, sur le site d'Hardivillers (déclaration de l'exploitant).

Méthodologie

Calculer la production de lixiviats en fonction des paramètres inhérents à celle-ci, pour une période donnée.

Comparer avec les relevés de volume fait par un géomètre, sur la même période.

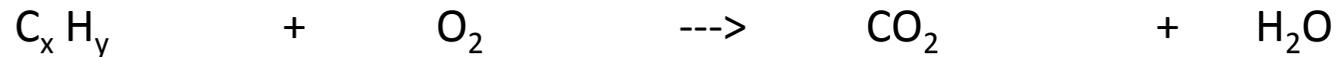
Paramètres à prendre en compte

La genèse des lixiviats

Lixiviats : résultante de la lixiviation des matières solubles, contenues dans les déchets, par percolation des eaux de précipitation ;

Deux autres sources contribuent à augmenter le volume des lixiviats :

- les eaux amenées avec les déchets (humidité)
- les eaux issues du processus de dégradation des matières organiques :



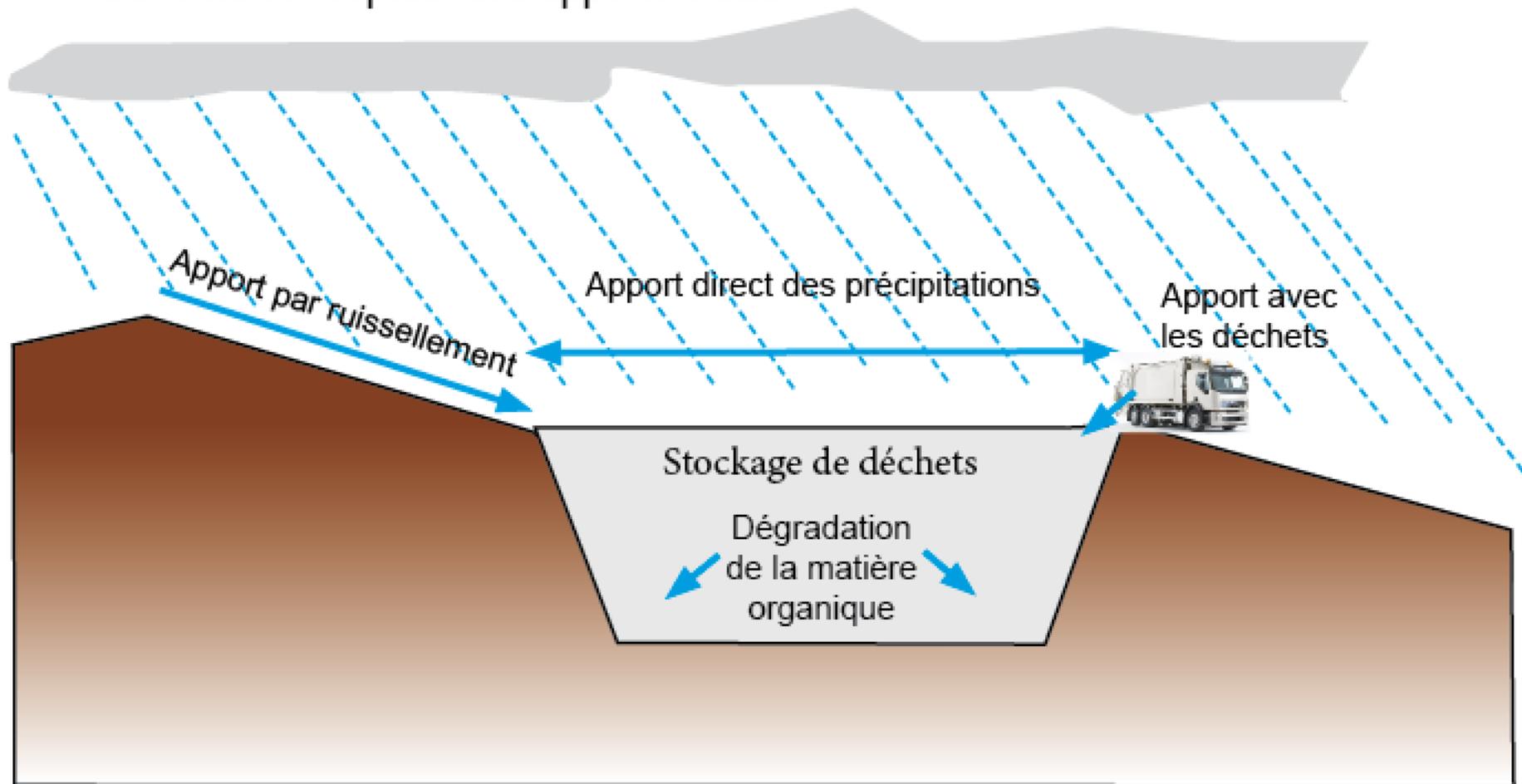
matière organique + oxygène (air) \longrightarrow dioxyde de carbone + eau
(équation non équilibrée)

Ces apports sont minoritaires, par rapport à ceux issus des précipitations (lixiviats au sens strict).

Paramètres à prendre en compte

Bilan des apports dans la genèse des lixiviats

Schéma conceptuel des apports d'eau :



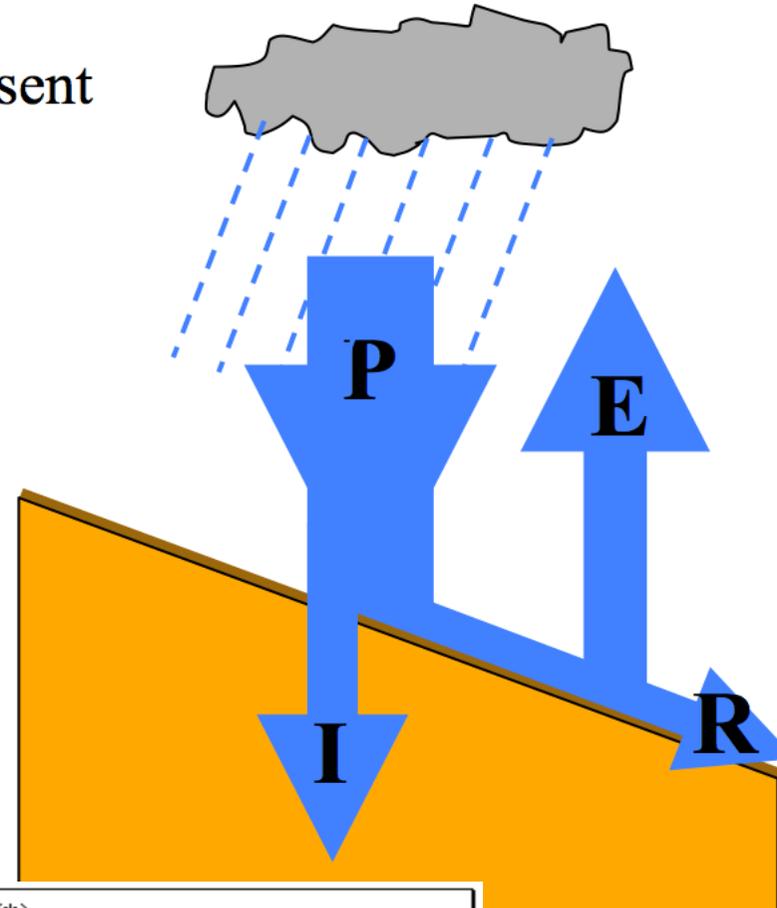
Paramètres à prendre en compte

Autre facteur influençant très fortement sur le bilan de production : l'évaporation

Les eaux météoriques connaissent globalement trois devenir :

- Ruissellement
- Infiltration
- Évapotranspiration

$$P = R + E + I$$



BILAN HYDRIQUE DU SOL EN FRANCE (*)

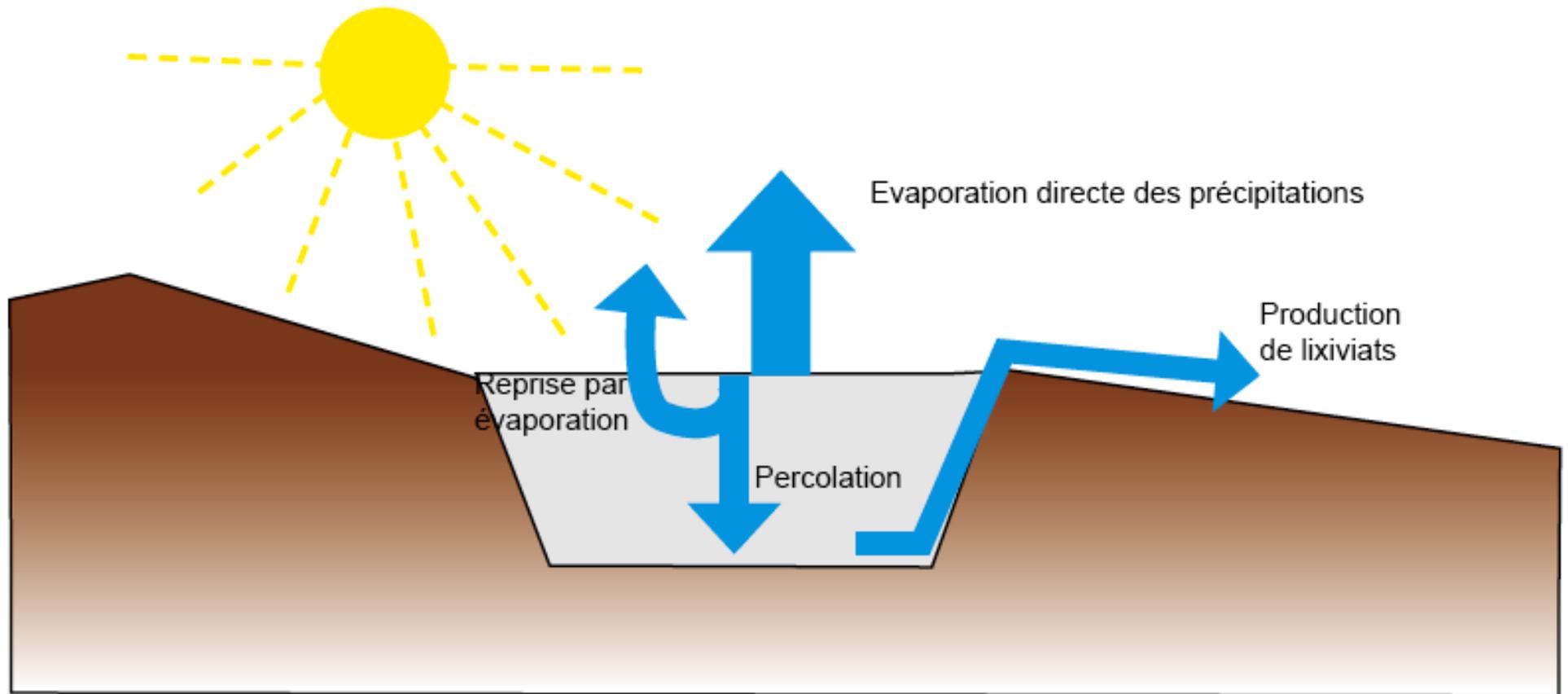
| | |
|--|-------------|
| Précipitation | 500-1200 mm |
| Evapotranspiration réelle | 450-650 mm |
| Ecoulement (ruissellement + drainage) | >50-650 mm |

(*) hors zones montagneuses (d'après Choissnel et Noilhan 1995)

Paramètres à prendre en compte

Bilan de l'eau dans la genèse des lixiviats

Schéma conceptuel des départs d'eau :



Application au site d'hardivillers

Le site est un stockage de terres faiblement polluées.

→ Pas de matière organique en quantité significative → pas de genèse d'eau liée à la dégradation de la matière organique

→ De l'eau peut être contenue en imbibation, mais peu mobile

→ L'apport en eau peut donc être considéré comme lié aux seules précipitations

La genèse des lixiviats est donc fonction de :

→ des précipitations

→ de la surface de collecte

→ des facteurs favorisant l'évaporation (ensoleillement, température, vent...)

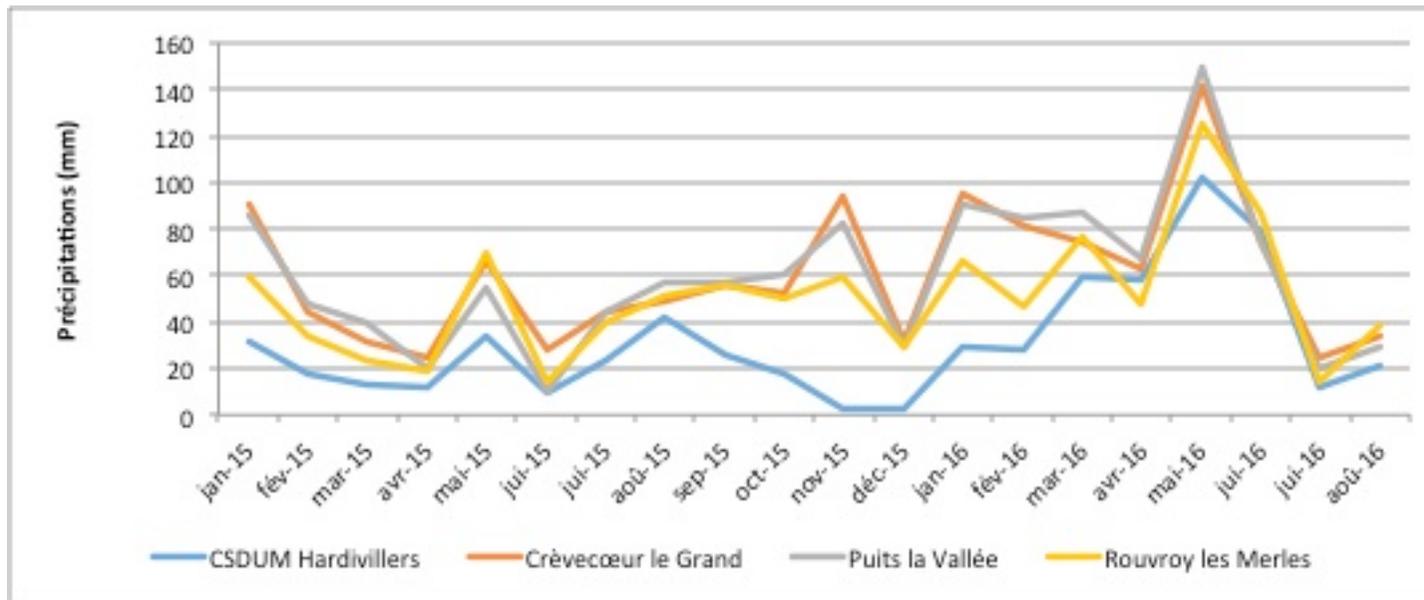
Les paramètres nécessaires pour l'évaluation de la production sont donc :

→ données météorologiques (précipitations, ensoleillement, température, vent...)

→ la surface de collecte

Données utilisables

Concernant les données climatiques, Le site dispose d'une station de mesures de données météorologiques. Toutefois, cette station montre un niveau de précipitations cumulés sur l'année 2016 de 240 mm, alors que le cumul attendu pour le secteur est plutôt de l'ordre de 500 mm.



- Une vérification de la station a mis en évidence une sous-estimation de 18 %, avant ré-étalonnage
- Il y a également une plage de données peu cohérentes entre septembre 2015 et février 2016
- Pour les plages cohérentes, la courbe suit celle de la station de Rouvroy les Merles

Nous choisissons donc d'utiliser les données de la station de Rouvroy les Merles, avec en complément, celles de Beauvais.

Données utilisables

En ce qui concerne les données pour l'évaluation des volumes de lixiviats produits, on dispose de :

- les relevés du géomètre expert d'avril 2015 à septembre 2016 ;
- Les bordereaux d'enlèvement des lixiviats ayant été traités sur un autre site.

Méthodes d'évaluation de la production de lixiviat, par le calcul

Il s'agit ici, bien entendu de calculer le volume théorique qui serait produit sur une période donnée, en fonction des différents paramètres énoncés ci-avant.

Nous avons testé cinq méthodes de calcul :

- méthode de la Circulaire DPPR/SDPD n° 96-858 du 28/05/96 relative aux garanties financières pour l'exploitation d'installations de stockage de déchets
- méthode de calcul de l'ETP selon Penman (avec correction)
- méthode de calcul de l'évaporation, suivant Primault
- méthode de calcul de l'ETP selon Turc (avec correction)
- méthode mixte ETP Penman et Primault

Méthodes d'évaluation de la production de lixiviat, par le calcul

Méthode de la Circulaire DPPR/SDPD n° 96-858

C'est une méthode simple qui repose sur des constats de fonctionnement de CSDU.

Elle a pour fonction de réaliser une estimation globale de la production de lixiviats pour un centre de stockage, et pour une année, afin de calculer le montant des garanties financières.

Ces hypothèses sont formulées à partir de la bibliographie. Une décharge d'ordures ménagères produit en moyenne 1750 m³/ha/an de lixiviats (1/4 de la pluviométrie moyenne égale à 700 mm/an)

Cette méthode ne permet donc pas de tenir compte des situations particulières, comme ici un stockage de déchets non évolutifs, ni d'évaluer l'incidence des bassins de stockage sur la variation de volume (bilan évaporation - précipitations sur les bassins).

Méthodes d'évaluation de la production de lixiviat, par le calcul

Méthode de calcul de l'ETP selon Penman (avec correction)

Les principaux modèles d'estimation de l'évapotranspiration reposent sur les premiers principes de la thermodynamique. Ils se différencient généralement par le choix des paramètres nécessaires aux calculs.

Le premier principe de la thermodynamique se base sur la conservation de l'énergie et s'énonce, pour un couvert végétal dans le système sol/couvert/atmosphère, ainsi :

$$R_n + M + S + LE + H + G = 0$$

où :

R_n est le rayonnement net ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

M le gain d'énergie stockée du fait des réactions biochimiques ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

S la quantité de chaleur accumulée par le système (variation de température) ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

L la chaleur latente de vaporisation de l'eau ($\text{MJ}\cdot\text{kg}^{-1}$) ;

E le flux d'eau massique ($\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

H le flux de chaleur sensible ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$) ;

G le flux de chaleur entre le système et le sol ($\text{MJ}\cdot\text{m}^{-2}$).

R_n est le terme principal de l'équation, de par sa valeur numériquement importante.

Méthodes d'évaluation de la production de lixiviat, par le calcul

L'équation de Penman-Monteith est formulée ainsi :
avec :

$$L ET = \frac{\Delta(R_n - G) + \rho \cdot C_p \cdot \frac{(e_a - e_d)}{r_a}}{\Delta + \gamma \cdot \left(1 + \frac{r_s}{r_a}\right)}$$

Rn : rayonnement net (MJ·m-2) ;
L : chaleur latente de vaporisation de l'eau (M·kg-1) ;
ET : flux d'eau massique (kg·m-2) ;
G : flux de chaleur entre le système et le sol (MJ·m-2) ;
D : pente de la courbe de pression saturante (kPa·°C-1) ;
g : constante psychrométrique (kPa·°C-1) ;
ea : pression de vapeur saturante (kPa) ;
ed : pression de vapeur au point de rosée (kPa) ;
ra : résistance aérodynamique (s·m-1) ;
rs : résistance de surface de la culture de référence (s·m-1).

Cette formule est complexe à mettre en œuvre, car elle nécessite de disposer d'informations très précises. Toutefois, météo-france fournit les valeurs de l'ETP Penman, pour Beauvais.

Cependant, l'évapotranspiration de déchets non couverts est inférieure à l'ETP, puisque la transpiration végétale est inexistante (ou négligeable). Il convient donc de corriger le calcul. Des valeurs comprises d'ETRmax entre 0,4 et 0,7 fois l'ETP pourront être retenues en première approximation (*Gael Bellenfant. MODELISATION DE LA PRODUCTION DE LIXIVIAT EN CENTRE DE STOCKAGE DE DECHETS MENAGERS. Hydrology. Institut National Polytechnique de Lorraine - INPL, 2001*).

Méthodes d'évaluation de la production de lixiviat, par le calcul

Méthode de calcul de l'évaporation, suivant Primault

Cette méthode permet de calculer l'évaporation pour un plan d'eau :

$$E = \frac{103 - H_R}{100} \cdot (N + 2 \cdot n_j)$$

Avec :

E : évaporation physique d'un grand réservoir [mm],

H_r : l'humidité relative[%],

N : durée d'insolation effective pendant la période de calcul [h],

n_j : le nombre total de jour de la période considérée.

Elle ne prend pas en compte de transpiration végétale (pas de plantes terrestres sur un plan d'eau), par contre elle sous-estime l'évaporation au niveau des casiers, car elle ne prend pas non plus en compte la reprise par évaporation dans les déchets.

Par contre, elle est bien adaptée pour évaluer l'évaporation dans les bassins.

Méthodes d'évaluation de la production de lixiviat, par le calcul

Méthode de calcul de l'ETP selon Turc (avec correction)

Il s'agit d'une méthode différente de celle de Penman, mais qui reprend les mêmes principes.

$$ETP = k (T/(T+15)) (R_g+50)$$

avec :

R_g (radiation solaire globale) : $I_{ga}(0,18+0,62 h/H)$

I_{ga} : radiation solaire directe en l'absence d'atmosphère

h/H : durée réelle d'insolation/durée maximale possible (varie entre 1 et 0,1)

T : température mensuelle moyenne

Les avantages et inconvénients de cette méthode, sont les mêmes qu'avec l'ETP Penman.

Méthodes d'évaluation de la production de lixiviat, par le calcul

Méthode mixte ETP Penman et Primault

Il s'agit ici de prendre en compte la méthode de l'ETP Penman, pour les casiers, et celle de Primault, pour les bassins, afin d'appliquer les méthodes les mieux adaptées à chaque cas de figure (ETP Penmann corrigée pour les casiers et Primault pour les bassins).

Résultat des calculs

| mois | Données climatiques | | | | | | | | | | Données de surface | | Volume reçu (m3) | Lixiviat suivant circulaire n° 96-858 du 28/05/96 | Lixiviat suivant ETP Penman corrigée | | | |
|----------------|--|---|--|---------------------------------|------------------------------|-------------------|-----------------------------|--------|--------|-------------|---------------------|--------------------------------------|------------------|---|--------------------------------------|-----------------------------|------------------------------|--|
| | Précipitations mm (station de Rouvroy) | Vitesse du vent (station de Rouvroy) km/h | Vitesse du vent (station de Rouvroy) m/S | T° moyenne (station de Rouvroy) | Pression de vapeur saturante | Humidité relative | Ensoleillement (Beauvais) h | Iga | Rg | Nb de jours | S de réception (m2) | Surface des bassins de lixiviat (m2) | | | ETP Penman | Evaporation sur casier (m3) | Evaporation sur bassins (m3) | Lixiviat restant dans les bassins (m3) |
| avril 2015 | 19,2 | 2,8 | 0,78 | 9,9 | 1,228 | 85 | 228,72 | 764,00 | 467,58 | 30,00 | 8464 | 1882 | 198,6 | 49,66 | 82,8 | 490,6 | 62,3 | -354,3 |
| mai 2015 | 69,5 | 2,9 | 0,81 | 12,3 | 1,449 | 78 | 185,18 | 920,00 | 487,41 | 31,00 | 8464 | 1882 | 719,0 | 179,76 | 102,4 | 606,7 | 77,1 | 35,3 |
| juin 2015 | 14,5 | 3,1 | 0,86 | 16,1 | 1,818 | 70 | 278,82 | 983,00 | 694,64 | 30,00 | 8464 | 1882 | 150,0 | 37,50 | 145 | 859,1 | 109,2 | -818,2 |
| juillet 2015 | 40 | 3,2 | 0,89 | 18,7 | 2,13 | 70 | 216,97 | 938,00 | 553,26 | 31,00 | 8464 | 1882 | 413,8 | 103,46 | 142,9 | 846,7 | 107,6 | -540,4 |
| août 2015 | 51,6 | 2,7 | 0,75 | 18,9 | 2,197 | 71 | 196,62 | 800,00 | 441,11 | 31,00 | 8464 | 1882 | 533,9 | 133,46 | 118,2 | 700,3 | 89,0 | -255,4 |
| septembre 2015 | 56,3 | 3 | 0,83 | 13,2 | 1,498 | 78 | 158,97 | 607,00 | 291,52 | 30,00 | 8464 | 1882 | 582,5 | 145,62 | 67,7 | 401,1 | 51,0 | 130,4 |
| octobre 2015 | 50,2 | 2,3 | 0,64 | 10,6 | 1,27 | 85 | 84,10 | 404,00 | 136,90 | 31,00 | 8464 | 1882 | 519,4 | 129,84 | 32,8 | 194,3 | 24,7 | 300,3 |
| novembre 2015 | 59,5 | 3,8 | 1,06 | 9,9 | 1,228 | 86 | 72,42 | 246,00 | 77,93 | 30,00 | 8464 | 1882 | 615,6 | 153,90 | 18,1 | 107,2 | 13,6 | 494,7 |
| décembre 2015 | 29 | 3,6 | 1,00 | 9,2 | 1,148 | 86 | 66,42 | 180,00 | 54,98 | 31,00 | 8464 | 1882 | 300,0 | 75,01 | 16,3 | 96,6 | 12,3 | 191,2 |
| janvier 2016 | 66 | 3,8 | 1,06 | 4,8 | 0,872 | 86 | 70,43 | 222,00 | 69,50 | 31,00 | 8464 | 1882 | 682,8 | 170,71 | 11,5 | 68,1 | 8,7 | 606,0 |
| février 2016 | 47 | 4,3 | 1,19 | 5,5 | 0,903 | 82 | 88,52 | 360,00 | 124,99 | 29,00 | 8464 | 1882 | 486,3 | 121,57 | 25,9 | 153,5 | 19,5 | 313,3 |
| mars 2016 | 76,1 | 3,9 | 1,08 | 5,8 | 0,935 | 79 | 121,27 | 562,00 | 229,89 | 31,00 | 8464 | 1882 | 787,3 | 196,83 | 48 | 284,4 | 36,1 | 466,8 |
| avril 2016 | 47,8 | 3 | 0,83 | 8,2 | 1,073 | 78 | 157,25 | 764,00 | 364,45 | 30,00 | 8464 | 1882 | 494,5 | 123,63 | 71,8 | 425,4 | 54,1 | 15,1 |
| mai 2016 | 125 | 2,7 | 0,75 | 12,9 | 1,498 | 80 | 163,45 | 920,00 | 449,64 | 31,00 | 8464 | 1882 | 1293,3 | 323,31 | 91,8 | 543,9 | 69,1 | 680,2 |
| juin 2016 | 87,3 | 2,5 | 0,69 | 16,4 | 1,877 | 84 | 114,50 | 983,00 | 389,54 | 30,00 | 8464 | 1882 | 903,2 | 225,80 | 100,8 | 597,2 | 75,9 | 230,1 |
| juillet 2016 | 14 | 2,5 | 0,69 | 18,5 | 2,13 | 73 | 228,42 | 938,00 | 573,54 | 31,00 | 8464 | 1882 | 144,8 | 36,21 | 138,4 | 820,0 | 104,2 | -779,3 |
| août 2016 | 38,1 | 2,7 | 0,75 | 18,9 | 2,197 | 72 | 239,48 | 800,00 | 505,89 | 31,00 | 8464 | 1882 | 394,2 | 98,55 | 122,3 | 724,6 | 92,1 | -422,5 |
| septembre 2016 | 40,9 | 2,2 | 0,61 | 18,4 | 2,13 | 77 | 137,10 | 607,00 | 266,45 | 30,00 | 8464 | 1882 | 423,2 | 105,79 | 80 | 474,0 | 60,2 | -111,1 |
| total : | 932 | | | | | | | | | | | | 9642,5 | 2410,62 | | | | 3463,5 |

| Lixiviat suivant Primault (évaporation nappe d'eau libre) | | | Lixiviat suivant ETP Turc corrigée | | | Lixiviat suivant ETP Penman corrigée et Primault | | | |
|---|------------------------------|--|------------------------------------|------------------------------|--|--|-----------------------------|------------------------------|--|
| Evaporation sur casiers (m3) | Evaporation sur bassins (m3) | Lixiviat restant dans les bassins (m3) | Evaporation sur casiers (m3) | Evaporation sur bassins (m3) | Lixiviat restant dans les bassins (m3) | ETP Penman | Evaporation sur casier (m3) | Evaporation sur bassins (m3) | Lixiviat restant dans les bassins (m3) |
| 397,2 | 88,3 | -286,88 | 475,5 | 95,0 | -371,9 | 82,8 | 490,6 | 88,3 | -380,3 |
| 461,7 | 102,7 | 154,72 | 578,1 | 132,6 | 8,3 | 102,4 | 606,7 | 102,7 | 9,7 |
| 868,1 | 193,0 | -911,17 | 890,7 | 157,0 | -897,7 | 145 | 859,1 | 193,0 | -902,1 |
| 698,2 | 155,2 | -439,59 | 799,3 | 166,3 | -551,8 | 142,9 | 846,7 | 155,2 | -588,1 |
| 621,9 | 138,3 | -226,34 | 653,8 | 143,8 | -263,7 | 118,2 | 700,3 | 138,3 | -304,7 |
| 404,1 | 89,8 | 88,54 | 369,4 | 90,3 | 122,8 | 67,7 | 401,1 | 89,8 | 91,5 |
| 178,4 | 39,7 | 301,30 | 184,8 | 57,0 | 277,6 | 32,8 | 194,3 | 39,7 | 285,4 |
| 150,2 | 33,4 | 431,94 | 117,5 | 34,6 | 463,5 | 18,1 | 107,2 | 33,4 | 474,9 |
| 143,0 | 31,8 | 125,18 | 95,3 | 26,5 | 178,2 | 16,3 | 96,6 | 31,8 | 171,7 |
| 148,8 | 33,1 | 500,92 | 69,2 | 20,0 | 593,7 | 11,5 | 68,1 | 33,1 | 581,6 |
| 212,4 | 47,2 | 226,59 | 104,9 | 31,2 | 350,2 | 25,9 | 153,5 | 47,2 | 285,6 |
| 313,4 | 69,7 | 404,28 | 186,4 | 51,8 | 549,2 | 48 | 284,4 | 69,7 | 433,3 |
| 400,5 | 89,0 | 5,04 | 338,5 | 84,5 | 71,6 | 71,8 | 425,4 | 89,0 | -19,9 |
| 382,4 | 85,0 | 825,78 | 551,6 | 136,1 | 605,6 | 91,8 | 543,9 | 85,0 | 664,3 |
| 235,6 | 52,4 | 615,22 | 530,5 | 158,4 | 214,3 | 100,8 | 597,2 | 52,4 | 253,6 |
| 663,8 | 147,6 | -666,54 | 822,2 | 165,5 | -842,9 | 138,4 | 820,0 | 147,6 | -822,7 |
| 715,0 | 159,0 | -479,74 | 740,0 | 143,8 | -489,6 | 122,3 | 724,6 | 159,0 | -489,4 |
| 372,1 | 82,7 | -31,72 | 402,8 | 106,3 | -85,9 | 80 | 474,0 | 82,7 | -133,6 |
| | | 3679,5 | | | 3435,0 | | | | 3251,5 |

Résultat des mesures

| Volume mesuré entre avril 2015 et septembre 2016 | | | | Export | |
|--|------------------|------------------|---------|---------|------|
| | bassin lixivié 1 | bassin lixivié 2 | total = | févr-16 | 616 |
| avr-15 | 1118 | 234 | 1352 | avr-16 | 23 |
| déc-15 | 1547 | 774 | 2321 | mai-16 | 609 |
| sept-16 | 1600 | 1462 | 3062 | total : | 1248 |

| | |
|--|------|
| Total produit sur la période (mesuré) : $(3062 - 1352) + 1248$ | 2958 |
|--|------|

Comparaison des résultats

| Comparaison | |
|---------------------------------------|---------|
| Production mesurée dans les bassins : | 2958 |
| Production calculée (moyenne) : | 3248,03 |
| Différence en m3 : | 290 |
| Différence en % : | 10% |

Le volume mesuré s'inscrit dans l'intervalle des résultats des différentes méthodes de calcul. La différence entre la mesure et la moyenne des résultats n'est que de 9 %, ce qui est faible pour ce type d'approche.

La modification du facteur de correction sur l'ETP Penman, d'un demi point, permet en utilisant la méthode mixte d'obtenir un volume calculé de 3050,8 m³, ce qui est quasiment le volume mesuré.

Il n'y a donc aucune incohérence entre les volumes déclarés entre avril 2015 et septembre 2016, et ceux calculés pour la même période.

Conclusion

Le calcul donne un volume de lixiviats produit cohérent avec la production mesurée.

Les incohérences apparentes relevées tiennent uniquement à la sous-estimation des précipitations de la station météo, et à un calcul qui ne prenait pas en compte suffisamment le facteur d'évaporation. Les deux différences s'annulaient à peu près.

Il convient donc de :

- modifier la méthode d'estimation de production de lixiviats par le calcul ;
- continuer à comptabiliser les volumes de lixiviats stockés, par relevés sur site, établis en cohérence avec la période de calcul (comparaison) ;
- suivre les données de la station météo du site et les comparer avec celles de Rouvroy les Merles.