

DETERMINATION DE LA FONCTION REGULATION DU CYCLE DE L'EAU

Le sol est un lieu de transit dans le cycle de l'eau. Certains sols, par leur nature, sont plus aptes que d'autres à réguler ce cycle permettant ainsi une meilleure infiltration des eaux de ruissellement, limitant le risque inondation, et procurant des îlots de fraîcheur lors des phénomènes caniculaires qui semblent voués à se multiplier dans les années à venir. L'indicateur choisi ici afin de traduire la fonction d'un sol à réguler le cycle de l'eau a pour objet de déterminer le **potentiel de ce sol à infiltrer l'eau**.

Cet indicateur est également évoqué par la suite par le terme de sensibilité à l'infiltration.

Calcul de l'indicateur Potentiel d'infiltration

Ce critère a pour objectif de déterminer le potentiel des sols à l'infiltration de l'eau. Il dépend de plusieurs critères intrinsèques au sol. Ce sont la présence d'un niveau imperméable, la texture, le degré d'hydromorphie et la perméabilité du sol qui sera obtenue par une fonction de pédotransfert.

L'analyse va s'appuyer sur les données pédologiques avec à minima les Référentiels Régionaux Pédologiques, cartographie à 1/250 000, ou sur des informations plus précises soit par des données disponibles ou soit par l'acquisition de données complémentaires.

La cartographie des sols à 1/250 000 ou Référentiel régional Pédologique impose le fait que les Unités Typologiques de Sols (UTS : volume de la couverture pédologique présentant en tous lieux de l'espace la même succession d'horizons, l'un ou l'autre de ces horizons pouvant être localement absent) soient agrégées dans les Unités Cartographiques de Sols (UCS : Une Unité Cartographique de Sol est définie comme un morceau de la couverture pédologique. Elle a pour but de représenter l'extension géographique d'un ou de plusieurs types de sol. Elle constitue donc le regroupement d'une ou de plusieurs Unités Typologiques de Sol (UTS) (figure 1) de façon à pouvoir en faire une représentation cartographique à une échelle donnée), qui restent les seules entités spatialisées. Toutes les interprétations ou calculs/estimations se font au niveau des UTS. Si l'information doit être représentée sur une carte, une agrégation s'impose pour transférer les informations obtenues sur les types de sol (UTS) vers une information unique pour l'UCS. La modalité exprimée doit être alors associée à un indicateur de la variabilité au sein de l'UCS : pourcentage de représentation au sein de l'UCS ou un écart type. Si la représentation des sols est à une échelle plus précise, l'UCS sera représentée par une seule UTS. L'information obtenue sur l'UTS sera alors caractéristique alors de l'UCS.

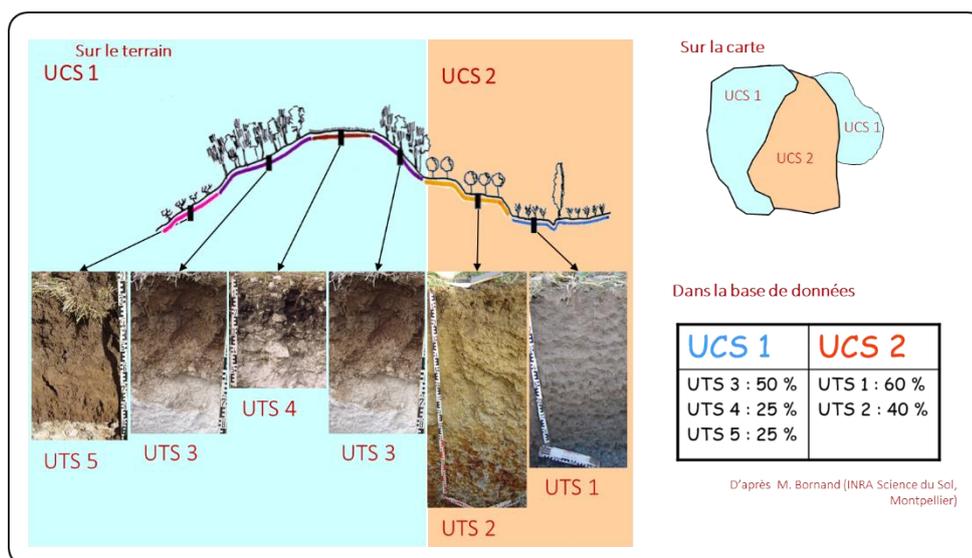


Figure 1 : Schéma d'organisation des UTS au sein d'une UCS

1) Présence d'un plancher imperméable

Le potentiel d'infiltration dépend de la présence en profondeur d'un plancher imperméable, c'est-à-dire un niveau où l'eau est bloquée et ne peut plus s'infiltrer en profondeur. Il est identifié dans DoneSol par le champ qui concerne l'apparition d'une discontinuité majeure. Il n'y a pas cependant pas d'indication sur l'intensité de cette discontinuité : elle est signalée par une profondeur d'apparition et par des indications sur les conséquences de sa présence.

DoneSol :
 Les champs concernés sont prof_dis_min, prof_dis_mod, prof_dis_max de la table UTS.
 Conséquence de la discontinuité, seul le code 1 est retenu : obstacle important à la pénétration de l'eau.
 Si un plancher imperméable n'est pas présent, le champ n'est pas renseigné. Si l'information est présente, il faut prendre par ordre de préférence :

- en priorité prof_dis_mod,
- le calcul de la moyenne de prof_dis_min et prof_dis_max et
- prof_dis_min si seule cette valeur est renseignée.

En fonction de la valeur retenue de discontinuité impactant la pénétration de l'eau, elle est classée pour chaque UTS suivant les modalités suivantes :

classe		Profondeur en cm	Profondeur en cm
0	<	25	
1	entre	25	50
2	entre	50	100
3	>	100	

Si prof_dis n'est pas renseigné, le sol est classé automatiquement en classe 3.

2) Texture

C'est la proportion (pourcentage pondéral) entre les petites particules, les argiles, les particules de taille moyenne, les limons, et particules de grande taille, les sables (dont le diamètre reste tout de même inférieur à 2 mm). Les textures sont regroupées en classes : sol argileux, limono-sableux... en fonction de ces proportions. Elles donnent aux sols des propriétés agronomiques différentes vis-à-vis de la rétention de l'eau, de la disponibilité des éléments nutritifs, de l'aération du sol qui sont des paramètres majeurs pour le développement des plantes. Deux triangles texturaux sont généralement utilisés en France : GEPPA, Aisne.

En fonction des classes texturales renseignées dans la table STRATE_QUAL, les classes texturales renseignées pour la strate 1 seront prises prioritairement, sauf pour les strates dites organiques identifiées dans le nom de la strate par la lettre « O » dans les différentes classifications françaises. Si le nom strate = « O » pour strate 1 alors la valeur à intégrer sera celle de la strate 2.

Les champs concernés sont TEXTURE_GEPPA ou TEXTURE_AISNE

- Si aucun des 2 n'est renseigné, on va rechercher les valeurs granulométriques présentes dans la table STRATE_QUANT. Puis à partir de cette information, elle est projetée dans le triangle de texture adéquat pour obtenir la classe texturale. L'opération est effectuée via le package R : <https://cran.r-project.org/web/packages/soiltexture/index.html>

(Les valeurs modales issues de la table STRATE_QUANT sont utilisées en priorité, et si elles sont absentes, un calcul de la moyenne à partir des données minimales et maximales est effectué.)

			Classes de l'Aisne	Classe GEPPA
0	=	argileuse	Alo, A, AL	AA, A, AI
1	=	limoneuse	LL, LM, LMS, LLS, LS	La, L, Ls
2	=	équilibrée	LSA, LAS, AS, LA	LSa, SaI, AS, LAS, As, Als
3	=	sableuse	S, SI, SA	Sa, SS, S, SI

3) Perméabilité

Capacité d'infiltration du sol ou aptitude du sol à se laisser traverser ou circuler par l'eau, elle dépend essentiellement de la texture du sol (répartition des minéraux par catégorie de taille : sable, limon et argile) et de la structure (c'est-à-dire leur organisation). Plus le sol est perméable plus l'eau s'infiltré.

Cette donnée peut être utilisée pour déterminer les possibilités et les modalités de l'irrigation et du drainage sur les sols travaillés. Pour les hydrologues, il s'agit essentiellement d'évaluer la capacité d'infiltration d'un sol travaillé ou naturel vis-à-vis de l'eau de pluie et, éventuellement, d'évaluer les possibilités de déplacement de l'eau dans le sol vers les nappes phréatiques.

Cette donnée peut être acquise par des méthodes de caractérisation *in situ* (par ex. Test de Porchet) qui ne peuvent pas être/ne sont pas mises systématiquement en place sur l'ensemble du territoire. Nous avons donc recours à des méthodes d'estimation par des fonctions de pédotransfert.

La méthode utilisée pour estimer la perméabilité du sol est la fonction de pédotransfert de Toth et al. (2015). Elle est basée sur la régression linéaire combinant analyse granulométrique, pH et CEC

Pour l'horizon de surface :

$$\text{Log}_{10}K_s = 0,40220 + 0,26122 * \text{pH} + 0,44565 - 0,02329 * A - 0,01265 * L - 0,01038 * \text{CEC}$$

Pour les horizons de profondeur :

$$\text{Log}_{10}K_s = 0,40220 + 0,26122 * \text{pH} - 0,02329 * A - 0,01265 * L - 0,01038 * \text{CEC}$$

Où $\text{Log}_{10}K_s$ est la perméabilité exprimée en Log_{10} cm/jour.

« Topsoil » est qualitativement la couche correspondant à l'horizon de surface (0 – 30 cm) pouvant inclure les horizons A, H, O selon le référentiel pédologique 2008.

« Subsoil » correspond à toutes les strates en dessous du « Topsoil », à l'exception des horizons R, M, D, H

Le calcul requiert les données suivantes :

- La fraction granulométrique en argile (A) et limon (L) en pourcentage (table strate_quant)
- La CEC exprimée en méq/100g (table strate_quant)
- Le pH (table strate_quant)
- L'épaisseur de l'horizon (table strate)
- La profondeur d'apparition de l'horizon (table strate)

Toth B., Weynants M., Nemes A., MAKO A., Bilas G., Toth G. – 2015 – New génération of hydraulic pedotransfert functions for Europe -European Journal of Soil Science

DoneSol

La fraction granulométrique

A partir de DoneSol, une première étape consiste à extraire les pourcentages des fractions granulométriques (sable, limon, argile) pour chaque strate. Les horizons R, M, D, H et C ne sont pas ou partiellement renseignés en ce qui concerne la granulométrie. De ce fait, ils ne sont pas pris en compte dans le calcul de la perméabilité.

La somme des 3 fractions doit être égale à 100 %. Dans le cas inverse, un prorata est calculé afin d'obtenir 100 %. Lorsque les valeurs ne sont pas renseignées pour une fraction granulométrique et que le total n'est pas égal à 100 % la fraction manquante est obtenue à partir de la différence 100 et la somme des autres fractions granulométriques.

Une fois les données préparées, seules les fractions granulométriques de l'argile et du limon sont utilisées dans l'équation.

La capacité d'échange cationique

Les valeurs min, mod et max de la CEC sont extraites à partir de la base de données DoneSol. La valeur modale est utilisée dans le calcul de l'estimation de la perméabilité. Dans le cas où elle est absente, elle peut être estimée par la moyenne entre la valeur max et min.

Le pH

Les valeurs min, mod et max du pH sont extraites à partir de la base de données DoneSol. La valeur modale est utilisée dans le calcul de l'estimation de la perméabilité. Dans le cas où elle est absente, elle peut être estimée par la moyenne entre la valeur max et min.

L'épaisseur de la strate

Les valeurs min, moy et max de l'épaisseur de la strate sont extraites à partir de la base de données DoneSol. La valeur moyenne est utilisée dans le calcul de l'estimation de la perméabilité. Dans le cas où elle est absente, elle peut être estimée par la moyenne entre la valeur max et min.

De plus, lorsque la valeur de la dernière strate est absente au sein d'une UTS, pour cela, la dernière strate est limitée à une profondeur de 120 cm. Il suffit de calculer son épaisseur en faisant la différence entre 120 et l'épaisseur moyenne de l'avant-dernière strate.

L'épaisseur de la strate est nécessaire pour l'agrégation de la perméabilité pour une UTS.

La profondeur d'apparition de la strate

Les valeurs min, moy et max de la profondeur d'apparition de la strate sont extraites à partir de la base de données DoneSol. La valeur moyenne est utilisée dans le calcul de l'estimation de la perméabilité. Dans le cas où elle est absente, elle peut être estimée par la différence entre la valeur max et min. **Si les valeurs min et max sont absentes, le coefficient de perméabilité ne peut être calculé.**

La valeur en log10 Ks est transformée en Ks.

Le calcul par UTS est effectué par une moyenne harmonique des conductivités des strates constituant le profil, pondérée par l'épaisseur des strates. (Samouëlian et al, 2011, Vadose Zone Journal) :

When the flux is perpendicular to the main direction of organization of the two types of EPVs, the effective conductivity at each water potential, $K_{eff}(h)$, is given by the harmonic mean of the hydraulic conductivity of each EPV, $m_h(h)$:

$$\frac{1}{m_h(h)} = \sum_{i=1}^2 \frac{\omega_i}{K_i(h)} \quad [6]$$

Un exemple :

		Epaisseur (m)	Proportion des horizons dans le profil	Log10 (cm/j)	Ks (cm/j)	Ks (m.s-1)
Horizon 1	0-30 cm	0,3	0,6	0,3	1,995	2,31E-07
Horizon 2	30-50 cm	0,2	0,4	2	100	1,16E-05
Epaisseur totale		0,5				

Calcul : moyenne harmonique = $1 / K_s = 0.6/1.995 + 0.4/100 = 0.3047$

$K_s = 3.28$

La strate la moins filtrante conditionne la conductivité de l'UTS. Cette UTS présente une conductivité globale de 0.3047.

La perméabilité est représentée sous forme de classes.

Classe	Perméabilité (KS cm/j)	
0	< 0,86	Sol imperméable
1	0.86 < et ≤ 8.6	Sol peu perméable
2	8.6 < et ≤ 86	Sol modérément perméable
3	> 86	Sol perméable à très perméable

4) Hydromorphie

L'engorgement ou saturation par l'eau se définit par l'occupation de la totalité de la porosité d'un horizon par l'eau. Lorsqu'il est engorgé, un horizon est à son humidité maximale.

L'hydromorphie est la manifestation morphologique de l'engorgement. Elle se constate par l'observation de taches, de colorations ou de décolorations dans un horizon ou un solum. Ce phénomène résulte de la dynamique du fer et du manganèse (qui sont tous deux des éléments colorés) en milieu alternativement réducteur puis réoxydé. La conséquence est que l'hydromorphie est dans la plupart des cas observable.

Les traits rédoxiques résultent d'engorgements temporaires avec pour conséquence principale des alternances d'oxydation et de réduction. Le fer réduit (soluble), présent dans le sol, migre sur quelques millimètres ou quelques centimètres puis re-précipite sous forme de taches ou accumulations de rouille, nodules ou films bruns ou noirs... Les zones appauvries en fer se décolorent (blanchiment, teintes livides) ...

Ils demeurent alors visibles même en période sèche ou quand le sol a été drainé

Les traits réductiques résultent d'engorgements permanents ou quasi permanents ce qui induit un manque d'oxygène dans le sol, créant un milieu réducteur riche en fer ferreux Fe²⁺.

Les sols sont définis en fonction de leur degré d'hydromorphie (correspondance aux classes GEPPA)

- Sain (aucun signe d'hydromorphie)
- hydromorphie entre 50 et 80 cm (classe III)
- hydromorphie entre 25 et 50 cm (classe IV)
- hydromorphie entre 0 et 25 cm (classe V et VI (- VI d))
- hydromorphie dès la surface avec un horizon réduit avant 50 cm (classe VI d)

Champ DoneSol : DRAINAGE_NATUREL table UTS

L'hydromorphie est finalement notée de 0 à 3 selon son intensité :

HYDROMORPHIE	Drainage_naturel Code DoneSol	NOTE
AUTRE	< 4	3
hydromorphie entre 50 et 80 cm (classe III)	=4	1
hydromorphie entre 25 et 50 cm (classe IV)	=4	1
hydromorphie entre 0 et 25 cm (classe V et VI (- VI d))	> 4	0
hydromorphie dès la surface avec un horizon réduit avant 50 cm VI d	> 4	0
HISTOSOL		0

***HISTOSOL** : un substrat ou sol gorgé en eau, très riche en matières organiques

5) Les classes de Potentiel d'infiltration de l'eau

L'attribution de la note d'infiltration est effectuée sur les Unités Typologiques de Sols (UTS) par la somme des notes obtenues pour chaque critère décrit précédemment. La note maximale est 12.

Proposition : la note 0 obtenue pour l'un quelconque des paramètres (présence d'un plancher imperméable, texture, perméabilité ou hydromorphie) est rédhitoire : le facteur concerné est considéré comme déclassant et il place automatiquement le sol dans la catégorie infiltration « très faible à nulle » (note 1).

Somme des notes individuelles	NOTE	Potentiel d'infiltration
Présence d'une note = à 0	1	Très faible à nulle
< 4	2	Faible
4 < et ≤ 7	3	Moyenne
7 < et ≤ 10	4	Forte
>10	5	Très forte

Mais la représentation se fait au niveau de l'Unité Cartographique de sol (UCS). Une UCS peut contenir de 1 à plusieurs UTS présentant des modalités d'infiltration différentes, il y a nécessité d'agrèger l'information pour représenter une seule modalité par UCS.

Le choix de représentation va se faire sur la modalité dominante. Pour chaque UCS, la note d'infiltration dominante, c'est-à-dire présentant le pourcentage le plus important dans l'UCS, sera retenue comme valeur pour l'UCS.

No_ucs	No_uts	Pourcentage	Note d'infiltration	Note retenue	Pourcentage de représentation
4	26	30	2		
4	28	40	5		
4	59	30	2	2	60 %
5	72	100	1	1	100 %
6	3	10	4		
6	9	30	1		
6	8	40	4		
6	18	20	2	4	50 %

L'information dominante est associée à un pourcentage de présence dans l'UCS, obtenu à partir des pourcentages des UTS au sein de l'UCS. Les pourcents restants expriment le fait qu'ils représentent des sols avec une autre appréciation du potentiel d'infiltration.

6) Contrainte supplémentaire rédhitoire : Pente

La pente est indépendante de la nature du sol, elle n'est donc pas dérivée des bases de données sol mais des bases de données topographiques (modèles numériques de terrain). Elle a un impact fort sur l'infiltration de l'eau dans le sol. Mécaniquement, plus la pente est forte, plus l'eau de pluie aura tendance à ruisseler en surface et moindre sera l'infiltration de l'eau dans le sol.

C'est donc une contrainte forte. Elle ne peut être associée aux UTS puisqu'au 1/250 000 les UTS ne sont pas spatialisées.

Pour le 250 000ème (ou RRP), la pente est intégrée comme une contrainte rédhitoire **lorsque le seuil est > à 10 %**. Dans le cas présent où l'on s'appuie sur le RRP, la pente, quand elle est supérieure à 10%, est représentée en surimposition.

Lors d'une cartographie à une échelle plus fine des sols où les contours des UTS seront précisés, le critère de la pente pourra s'appliquer suivant le modèle défini ci-dessous :

Elle pourra être définie pour chaque UTS suivant 4 classes : 0 à 2 %, 2 à 5 %, 5 à 10 %, > 10 % selon la modalité suivante :

pente	NOTE
0 à 2 %	3
2 à 5 %	2
5 à 10 %	1
> 10	0

La note attribuée aux différentes classes pourra alors être sommée aux 4 autres critères définis précédemment afin d'obtenir une note finale sur 15. Les zones dont la pente est supérieure à 10 % seront masquées sur l'emprise de l'agglomération.

Une des perspectives serait de coupler le potentiel d'infiltration avec l'Indice de Développement et de Persistance des Réseaux (IDPR) développé par le BRGM. L'objectif serait la prise en compte de la circulation de l'eau en surface (potentiel

d'infiltration) et dans les formations géologiques (IDPR) dans cet indice. L'intégration de cette donnée reste liée à la précision de l'information pédologique.

Exemple de représentation cartographique sur Châteauroux Métropole :

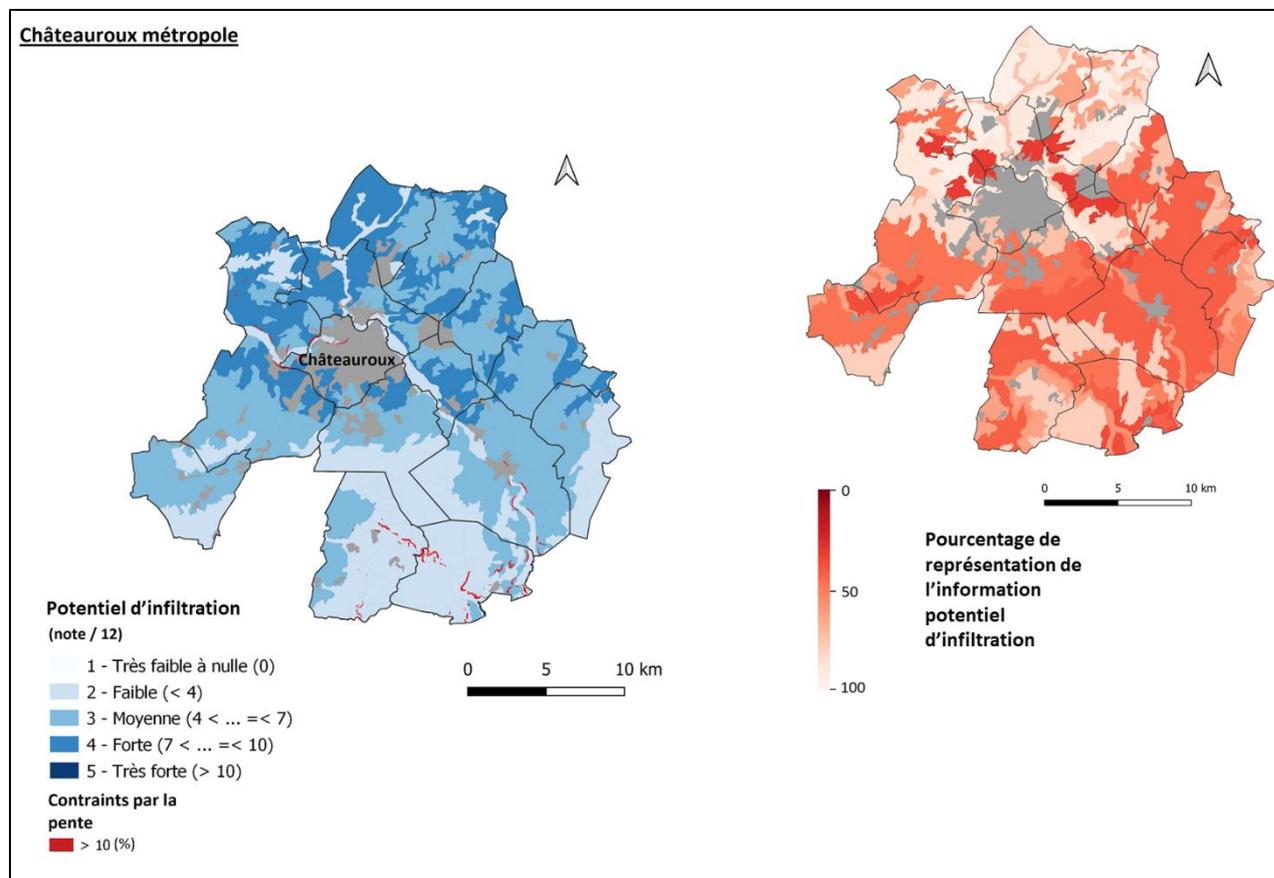


Figure 2 : Représentation du potentiel d'infiltration de Châteauroux Métropole

Incertitudes de l'indicateur Potentiel d'infiltration

L'échelle de validité des de potentiel d'infiltration de l'eau reste celle des données d'origine (1/250000^{ème}). Attention donc à ne pas interpréter ces données à une échelle inférieure. En effet, ces cartes sont réalisées grâce aux données des Référentiels Régionaux Pédologiques et les notes, spatialisées sur les grandes surfaces que sont les UCS, sont hétérogènes car elles proviennent en réalité de l'UTS dominante et ne sont donc pas entièrement représentatives d'une UCS. Des cartes informant du pourcentage de représentation de l'information, soit la somme des pourcentages des UTS présentant la même modalité au sein d'une UCS, accompagnent chaque carte d'indicateur. De plus, elles ne disposent pas de valeurs pour les sols urbains, d'où les taches grises.



Flore Vigneron pour le projet MUSE

Projet MUSE financé par l'Ademe



Citation du livrable :

Branchu P., Marseille, F., Béchet B., Bessière J.-P., Boithias L, Duvigneau C., Genesco P., Keller C., Lambert M.-L., Laroche B., Le Guern C., Lemot A., Métois R., Moulin J., Néel C., Sheriff R. (2022). MUSE. Intégrer la multifonctionnalité dans les documents d'urbanisme. 184 pages

Partenaires :

