

L'ARDOISE

Inertie thermique,
inaltérabilité,
imperméabilité
et circularité
d'un matériau géosourcé

présenté par
ALEXIS MARTEL

Ardobec

Knap of Howar, Écosse, 2800 à 3700 av. JC
Maison de ferme en pierre de 5700 ans



« Utilisée dès le Paléolithique, il y a plus de 12 000 ans, comme élément de pavement des tentes ou comme support pour la réalisation de gravures, l'ardoise est largement employée comme matériau de construction à l'époque gallo-romaine. Après une éclipse au début du Moyen Âge, l'industrie de l'ardoise reprend vigueur avec l'expansion monastique des XIIe et XIIIe siècles ».

1. Pierre Cattelain (dir.), *Au fil de l'ardoise... Au fil de l'eau*, DIRE asbl, 2015, p. 8.

Patrimonial / Moderne / Intemporel

Passé / Présent / Futur



Ardobec est une PME indépendante située dans les villes voisines de Val-des-Sources et Danville, en Estrie, et est un des seuls et derniers maître ardoisier au Canada, et la seule à exploiter le gisement d'ardoise St-Daniel (vs. St-Victor et Témiscouata) Elle existe depuis 1999, mais elle y exploite sa carrière et son usine de transformation depuis 2008. Cette carrière fut par ailleurs exploitée de 1853 à 1900. L'ardoise de Shipton était offert en échantillon à l'Expo Universelle de Londres en 1851 et de Paris en 1855. Elle n'aide donc pas seulement les restaurations patrimoniales d'aujourd'hui; elle fait partie du patrimoine.

Mais Ardobec compte également participer au futur de l'architecture. L'ardoise étant une pierre sédimentaire, elle consiste en une matière naturelle aux propriétés uniques en termes d'inaltérabilité, d'imperméabilité, d'inertie thermique, et de sa très faible empreinte environnementale.

L'ardoise est ainsi un matériau unique qui s'intègre naturellement dans les nouvelles constructions passives et écoresponsables.

Matériau TRÈS LOCAL de Montréal à Québec (170 km)
Ottawa/Rimouski/Portland (400 km)
Toronto/New York (700 km)

Une approche globale/holistique pour des environnements durables et harmonieux :

**Un seul matériau
de l'extérieur à l'intérieur du bâtiment**

- Aménagement paysager
- Toiture
- Maçonnerie et recouvrement mural
- Recouvrement du béton (patios, marches, fondations)
- Recouvrement de plancher
- Marches intérieures
- Foyers
- Comptoirs
- Salle de bain
- Projets sur mesure

Stable, éternel et écoresponsable :

Mythes à oublier :

Poreux

Tache

Friable/délamine

Fragile

Marque facilement

Glissant

L'ardoise a une durée de vie pratiquement infinie. Elle est dans son état depuis des millions d'années et elle le restera encore pour aussi longtemps.

L'ardoise vient donc s'inscrire dans les projets ayant une vision à très long terme et/ou à forte utilisation (place publique, institutionnel, commercial, etc.)

Empreinte écologique environ 15 à 75 fois moindre que le béton et la céramique (environ 10 à 15 kg GES/m³ vs. 250 à 750 kg GES/m³) en plus d'offrir un cycle de vie éternel (elle finit en agrégats)

L'ardoise vient souvent remplacer les composantes les plus polluantes de l'industrie de la construction : le béton et la céramique.

*Sa fissibilité réduit l'énergie nécessaire au sciage, et se scie plus rapidement et facilement que le granit.
Inerte et sans transformation chimique.*

Géosourcé, durable et efficace énergétiquement

*Composition sédimentaire (en strates)
Roche schisteuse (métamorphique):*

1. Très grande inertie thermique
2. Imperméabilité
3. Résistance aux intempéries
(calciums, acides et produits chimiques)
4. Cycle de vie éternel

1. Son inertie thermique en fait un matériau de choix comme outil de chauffage pour des constructions passives.
2. Son imperméabilité et sa durabilité en font une matière de choix pour la toiture et le recouvrement mural.
3. Sa résistance au sel et aux intempéries en fait un matériau de choix pour les environnements nordiques et côtiers.
4. Sa réutilisation éternelle en fait un produit recyclable à 100% et à coût environnemental très bas et unique

INERTIE THERMIQUE

ACE Laboratories (Ohio) pour Ardobec
Ardoise St-Daniel

Product Name		
Sample #	Solar Ref.	Thermal E.
1	0.108	0.85
2	0.171	0.85
3	0.167	0.83
4	0.162	0.85
Average	0.152	0.85
Standard Dev.	0.0269	
SRI Low	8	
SRI Medium	10	
SRI High	12	

Indice de réflectance solaire (SRI) = 10/100

Couleur foncée et matte = réflectance basse

Émission thermique = 0,85/1,00

Absorption et émission de 85 à 90% des rayons = bon outil de transfert thermique

Tableau d'absorption du rayonnement solaire en fonction des couleurs

Couleur du matériau (lustre mat)	Absorption du rayonnement direct %
Noir	90-95
Gris foncé	85-90
Bleu foncé	80-85
Vert olive foncé	80-85
Rouge foncé	70-75
Vert moyen ou orange moyen	55-65
Jaune pâle ou rose pâle	20-25
Blancs	15-20
Aluminium (poli)	10-15

Pour pavage extérieur : ardoise grise ou gris-verte

INERTIE THERMIQUE

Stockage d'énergie des matériaux par volume (KJ / m ³ °C)	
Argile sèche	1 535
Béton	1 840
Bois dur	720
Brique d'argile	1 535
Céramique	1 610
Eau	4 190
Plaques de plâtre	865
Pierres haute densité Marbre, granite, ardoise	2 025
Pierres moyenne densité Grès, calcaire	1650
Sable sec	1 200
Sol humide	2 000
Sol sec	1 250
Stuc de ciment	1 550
Verre	2 100

Capacité de stockage beaucoup plus intéressante que la céramique = planchers radiants plus efficaces

Beaucoup moins polluant, plus efficace énergétiquement, au prix d'une céramique moyen de gamme

Moins poreux
Plus résistant
Plus efficace énergétiquement
Que le béton

INERTIE THERMIQUE

λ Conductivité thermique :

aptitude d'un matériau à conduire la chaleur par unité de largeur et par degré de différence de température (W/m.°C). Permet de mesurer la quantité d'énergie/chaleur qui se propage par conduction.

C Masse volumique : poids en kg par mètre cube

ρ Chaleur spécifique (capacité thermique massique) : capacité d'un matériau à stocker la chaleur par unité de masse et par degré de différence de température (Wh/kg.°C). Capacité d'un matériau à accumuler de l'énergie sous forme thermique.

ρC Chaleur volumique : produit de la chaleur spécifique et de la masse volumique (capacité thermique multipliée par son volume).

a Diffusivité thermique : capacité d'un matériau à transmettre (rapidement) une variation de température.
 $a = (\lambda / \rho C)$ exprimé en m^2/s ou m^2/h

b Effusivité thermique : exprime la capacité d'un matériau à absorber (ou restituer) une puissance thermique. $b = (\lambda \cdot \rho C)^{1/2}$ exprimé en $(J \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1} \cdot s^{-1/2})$ ou $Wh^{1/2} \cdot m^{-2} \cdot ^\circ C^{-1}$

VT Vitesse de transfert : Une paroi extérieure absorbant le rayonnement solaire transmet l'onde chaleur avec retard, appelé « déphasage ». Le déphasage est lié à la diffusivité thermique. Le déphasage peut aussi être exprimé par la « vitesse de transfert » à travers le matériau.

δ Profondeur de peau thermique : la profondeur de peau thermique correspond à l'épaisseur de matériau sollicitée par la variation de température pendant une période donnée, en général 24 heures. (en m)

Les Unités :

λ : conductivité thermique = W /m.°C
C : Masse volumique : kg/m³
ρ : chaleur spécifique = Wh/kg.°C
ρC : Chaleur volumique = Wh/m³.°C
a : diffusivité thermique = m²/s ou m²/h
b : effusivité thermique = Wh^{1/2} m^{-1/2} .°C^{-1/2}
VT : vitesse de transfert = cm/h
δ : profondeur de peau thermique = m

EnviroBAT-Méditerranée : Matériaux et inertie – Jean-Louis IZARD/Julie LELONG – Juillet 2006

INERTIE THERMIQUE

EnviroBAT-Méditerranée : Matériaux et inertie
 – Jean-Louis IZARD/Julie LELONG – Juillet 2006

PIERRES ET BETONS			4 ^e	1 ^{er}	2 ^e	5 ^e	3 ^e	6 ^e	5 ^e	
Nom	Complément	Origine	λ	C	ρ	ρC	a	b	vt	δ
Adobe		Bâtiment Energie N° 21	0,53	2000	0,25	500	0,0011	16,3	2,4	0,090
Amiante ciment		Conception thermique de l'habitat	0,95	1800	0,29	522	0,0018	22,3	3,1	0,118
Ardoise		Aide-mémoire du thermicien 9 ^e éd -1987	2,1	2700	0,21	567	0,0037	34,5	4,4	0,168
Béton cellulaire 400	de 375 à 425 kg/m ³	Aide-mémoire du thermicien 9 ^e éd -1987	0,16	400	0,24	96	0,0017	3,9	3,0	0,113
Béton cellulaire 600	de 575 à 625 kg/m ³	Aide-mémoire du thermicien 9 ^e éd -1987	0,22	600	0,24	144	0,0015	5,6	2,8	0,108
Béton cellulaire 800	de 775 à 825 kg/m ³	Aide-mémoire du thermicien 9 ^e éd -1987	0,33	800	0,24	192	0,0017	8,0	3,0	0,115
Béton	Qualité B 160	Norme DIN 4108	1,51	2350	0,2	470	0,0032	26,6	4,1	0,156
Béton vibré		Norme DIN 4108	0,26	600	0,2	120	0,0022	5,6	3,4	0,129
Béton de chaux	Traité contre la vapeur	Norme DIN 4108	0,3	800	0,2	160	0,0019	6,9	3,1	0,120
Béton de chanvre	Chaleur spécifique estimée	Chanvrière de l'Aube	0,13	350	0,2	70	0,0019	3,0	3,1	0,119
Béton de copeaux de bois		Règles ThK pour la conduction et la masse volumique Estimat. de la chaleur massique	0,16	550	0,5	275	0,0006	6,6	1,7	0,067
Béton de fibres de bois	Fibragglos	Règles ThK pour la conduction et la masse volumique Estimation de la chaleur massique	0,12	400	0,5	200	0,0006	4,9	1,8	0,068
Béton laitier plein		Pôle Construction	1,4	2300	0,24	552	0,0025	27,8	3,7	0,139
Béton laitier caverneux		Pôle Construction	0,7	1800	0,24	432	0,0016	17,4	2,9	0,111
Béton de pouzzolane	de laitier expansé de 1000 à 1650	Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	0,35 0,52	1000 1650	0,24	240 396	0,0015 0,0013	9,2 14,3	2,8 2,6	0,106 0,100
Béton lourd	de granulats plein	Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	1,75	2300	0,26	598	0,0029	32,3	3,9	0,150

Les Unités :

- λ : conductivité thermique = W / m.°C
- C : Masse volumique : kg/m³
- ρ : chaleur spécifique = Wh/kg.°C
- ρC : Chaleur volumique = Wh/m³.°C
- a : diffusivité thermique = m²/s ou m²/h
- b : effusivité thermique = Wh^{1/2} m^{-1/2} .°C^{-1/2}
- VT : vitesse de transfert = cm/h
- δ : profondeur de peau thermique = m

Dans les pierres naturelles :

ARDOISE =

Plus grande masse volumique C
 Donc plus grande chaleur volumique ρC

Plus basse diffusivité
 Basse effusivité
 Lente vitesse de transfert
 Moins d'épaisseur sollicitée

Donc plus de capacité d'absorption et redistribution plus lente
Composition en strates = comme un radiateur

Ardobec

INERTIE THERMIQUE

EnviroBAT-Méditerranée : Matériaux et inertie –
Jean-Louis IZARD/Julie LELONG – Juillet 2006

Nom	Complément	Origine	λ	C	ρ	ρC	a	b	vt	δ
Ardoise		Aide-mémoire du thermicien 9 ^e éd -1987	2,1	2700	0,21	567	0,0037	34,5	4,4	0,168
Béton de granulats	caverneux de 1650	Pôle Construction	1,15	1650	0,24	396	0,0029	21,3	3,9	0,149
Béton de granulats	à 2100	Pôle Construction	1,4	2100	0,24	504	0,0028	26,6	3,8	0,146
Agglo de béton	Creux 20cm	ASHRAE, Handbook of Fundamentals	1,15	1300	0,2	260	0,0044	17,3	4,8	0,184
Calcaire demi-ferme		Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	1,4	1950	0,22	429	0,0033	24,5	4,1	0,158
Calcaire dur		Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	2,2	2400	0,22	528	0,0042	34,1	4,7	0,178
Calcaire ferme		Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	1,7	2200	0,22	484	0,0035	28,7	4,3	0,164
Calcaire tendre n°2		Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	0,95	1500	0,22	330	0,0029	17,7	3,9	0,148
Calcaire tendre n°3		Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	1,05	1700	0,22	374	0,0028	19,8	3,8	0,146
Carrelage		Conception thermique de l'habitat	1,7	2300	0,19	437	0,0039	27,3	4,5	0,172
Granit	Pierre dure	Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	3	2600	0,19	494	0,0061	38,5	5,6	0,215
Grès		Règles ThK Aide mémoire du thermicien	1,01	1700	0,2	340	0,0030	18,5	4,0	0,151
Marbre	Pierre calcaire	Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	2,4	2450	0,22	539	0,0045	36,0	4,8	0,184
Terre crue		Colzani	1,1	1800	0,23	414	0,0027	21,3	3,7	0,142
Terre cuite	Tuiles...	Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	1,15	1900	0,25	475	0,0024	23,4	3,6	0,136
Brique 10cm		ASHRAE, Handbook of Fundamentals	0,95	2000	0,2	400	0,0024	19,5	3,5	0,135
Brique perforée	Verticalement	Norme DIN 4108	0,6	1900	0,2	380	0,0016	15,1	2,9	0,110
Brique pleine	Surfacée	Norme DIN 4108	0,34 0,58	1000 1800	0,2	200 360	0,0017 0,0016	8,2 14,4	3,0 2,9	0,114 0,111
Terre sèche	en sous-sol	l'habitat écologique	0,75	1500	0,25	375	0,0020	16,8	3,2	0,124
Terre végétale		Aide- mémoire du thermicien 9 ^e éd - 1987	1,26	1700	0,17	289	0,0044	19,1	4,8	0,183

Les Unités :

λ : conductivité thermique = W / m.°C
 C : Masse volumique : kg/m³
 ρ : chaleur spécifique = Wh/kg.°C
 ρC : Chaleur volumique = Wh/m³.°C
 a : diffusivité thermique = m²/s ou m²/h
 b : effusivité thermique = Wh^{1/2} m^{-1/2}.°C^{-1/2}
 VT : vitesse de transfert = cm/h
 δ : profondeur de peau thermique = m

Dans les pierres naturelles :

ARDOISE =

Plus grande masse volumique C
 Donc plus grande chaleur volumique ρC

Plus basse diffusivité
 Basse effusivité
 Lente vitesse de transfert
 Moins d'épaisseur sollicitée

Donc plus de capacité d'absorption et redistribution plus lente
Composition en strates = comme un radiateur

Recouvrement

Mosaïque naturelle 30mm - Plancher et recouvrement mural intérieur et extérieur
Crédits photos : Maxime Brouillet / Architectes : La Shed



Foyers

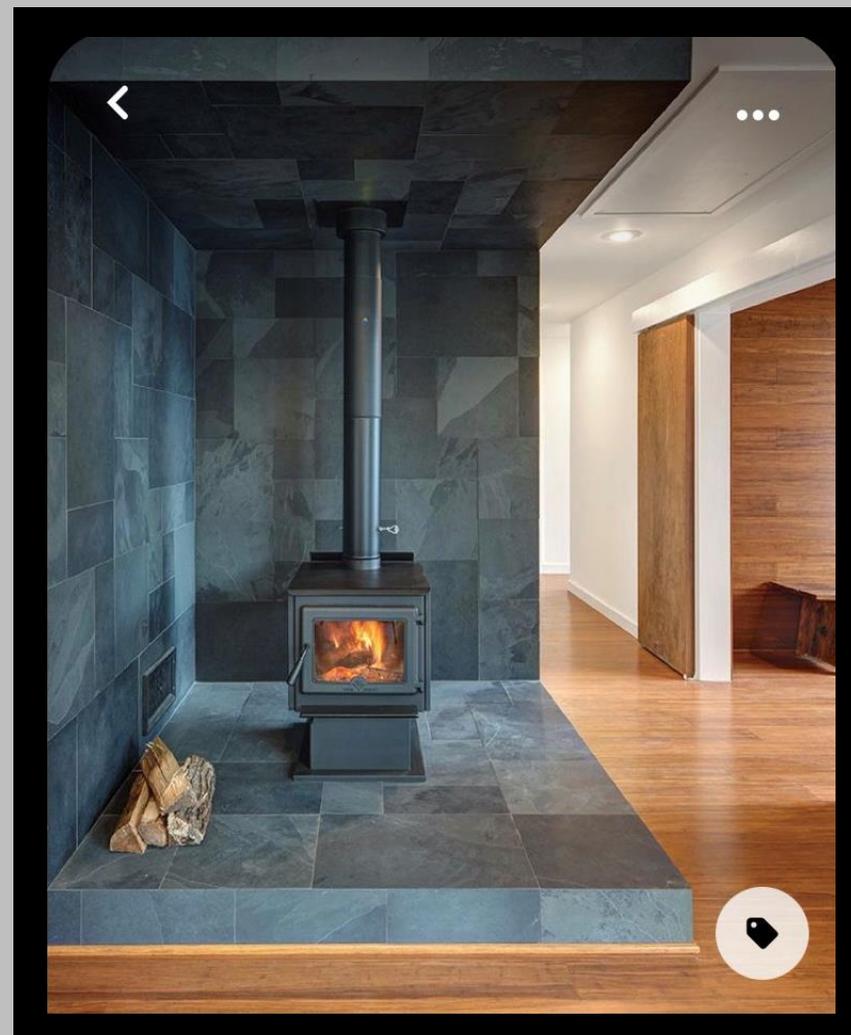
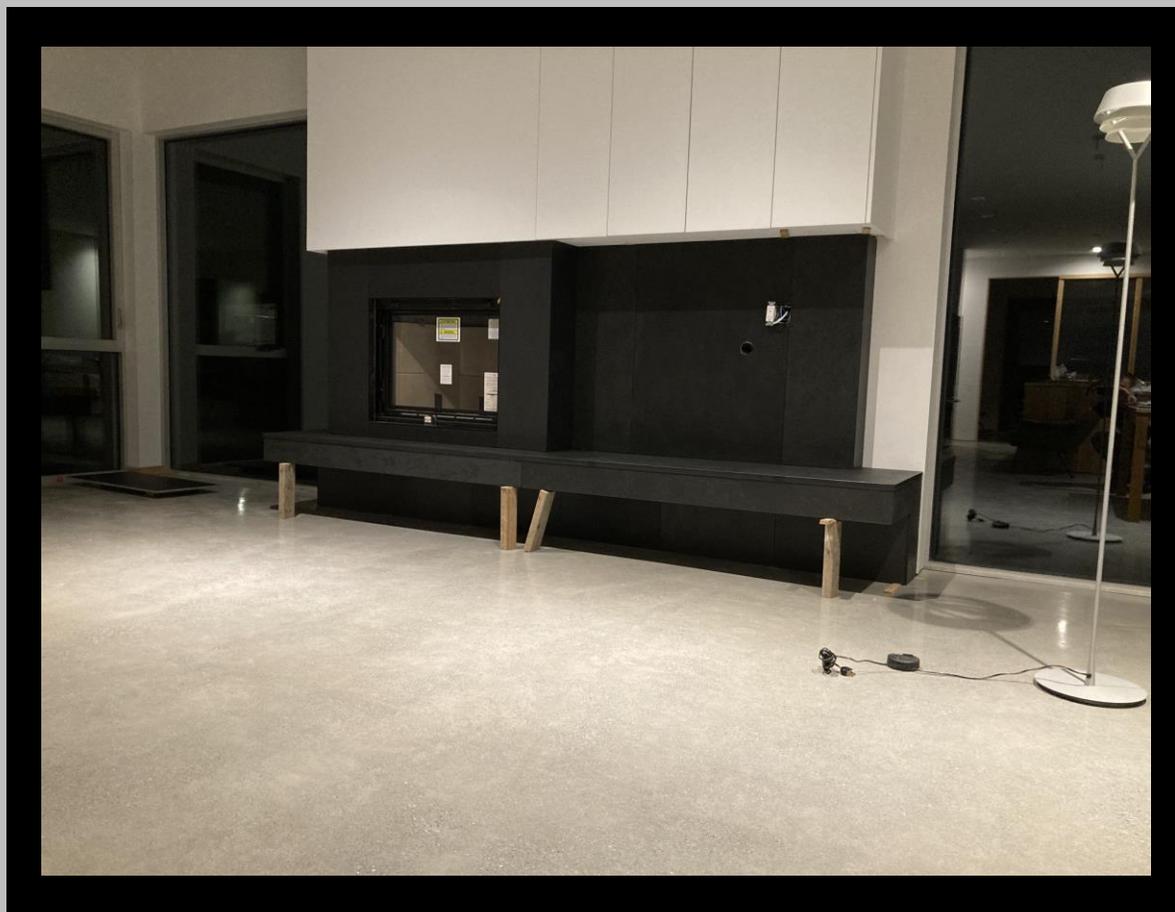
Tablette de foyer massive



Maçonnerie légère



Foyers

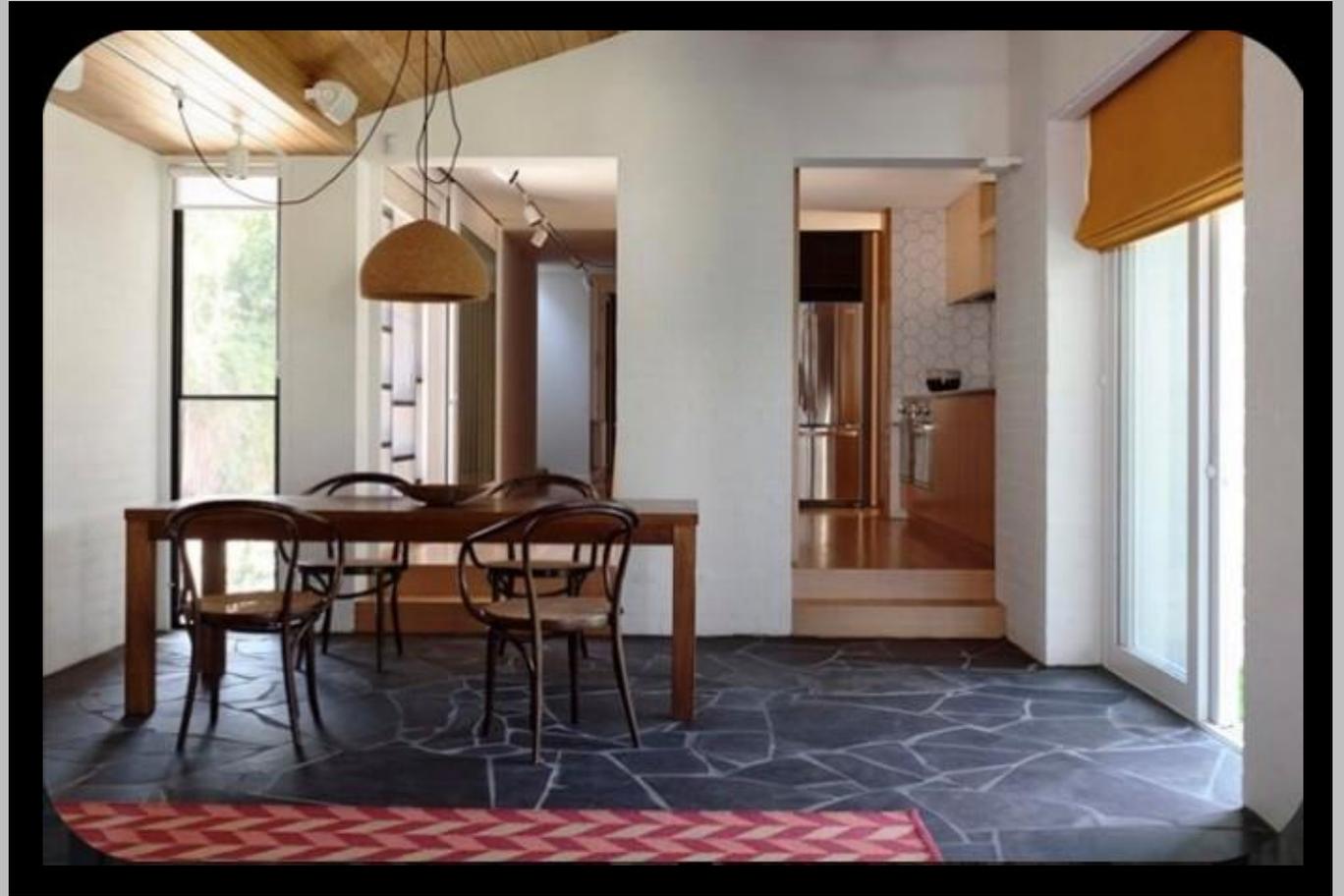


Recouvrement de plancher

Opus romain intérieur et extérieur

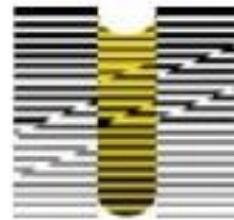


Dalles naturelles mosaïque (crazywork)



INALTÉRABILITÉ

Résistance à l'acide sulfurique : acide minéral dont la force ($pK_a = -3,0$) est seulement dépassée par quelques superacides



Centre de technologie minérale et de plasturgie inc. (CTMP)
671, boulevard Frontenac Ouest, porte 8
Thetford Mines (Québec) G6G 1N1
Téléphone : (418) 338-6410 Télécopieur : (418) 338-9584
ctmp@cegeph.qc.ca - www.ctmp.ca

RÉSISTANCE AUX INTEMPÉRIES, ASTM C217

Procédure: - Immersé dans le H_2SO_4 pendant 7 jours

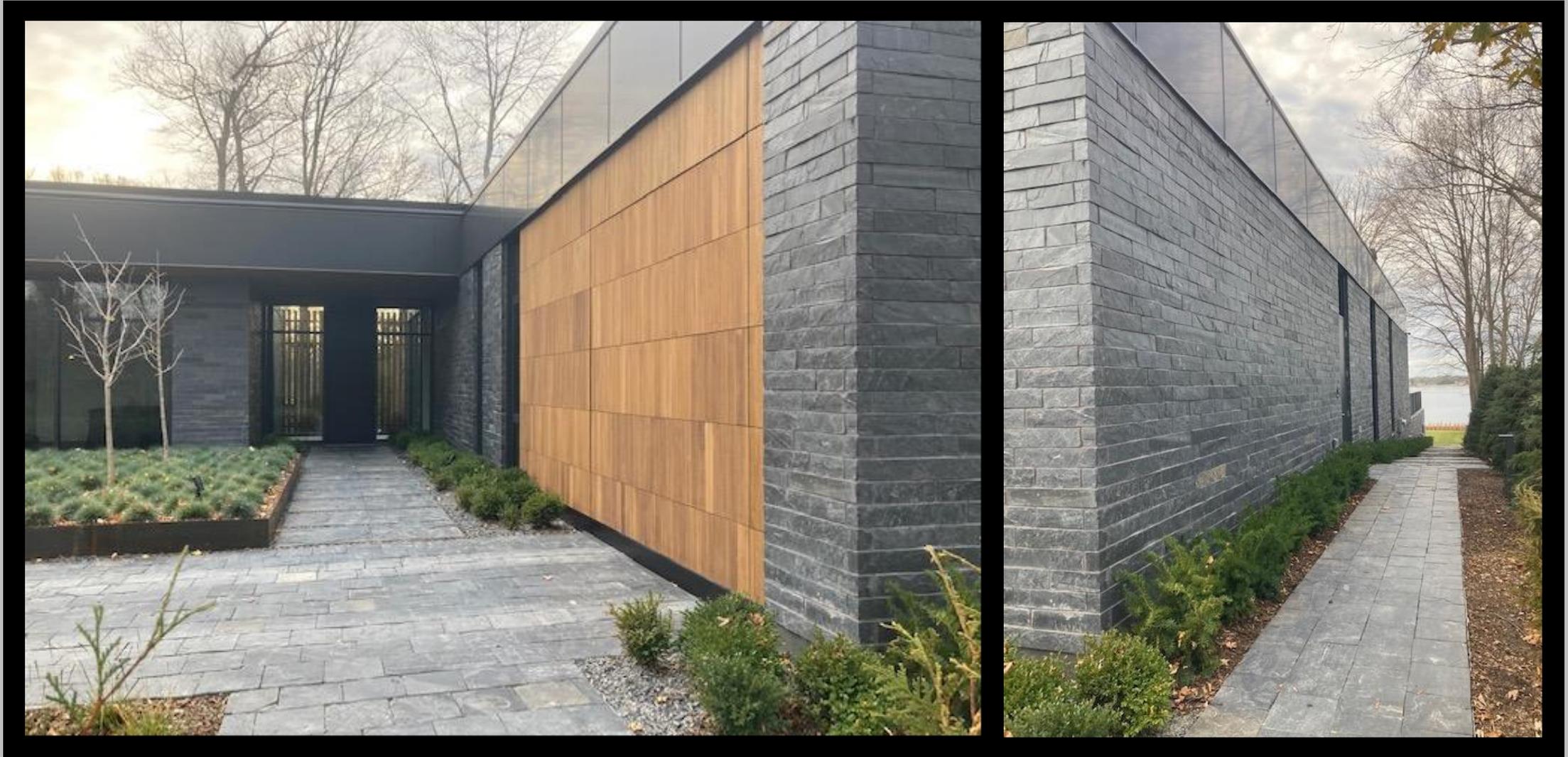
Méthode: - Manuel

Résultats: Profondeur moyenne de ramollissement (mm)

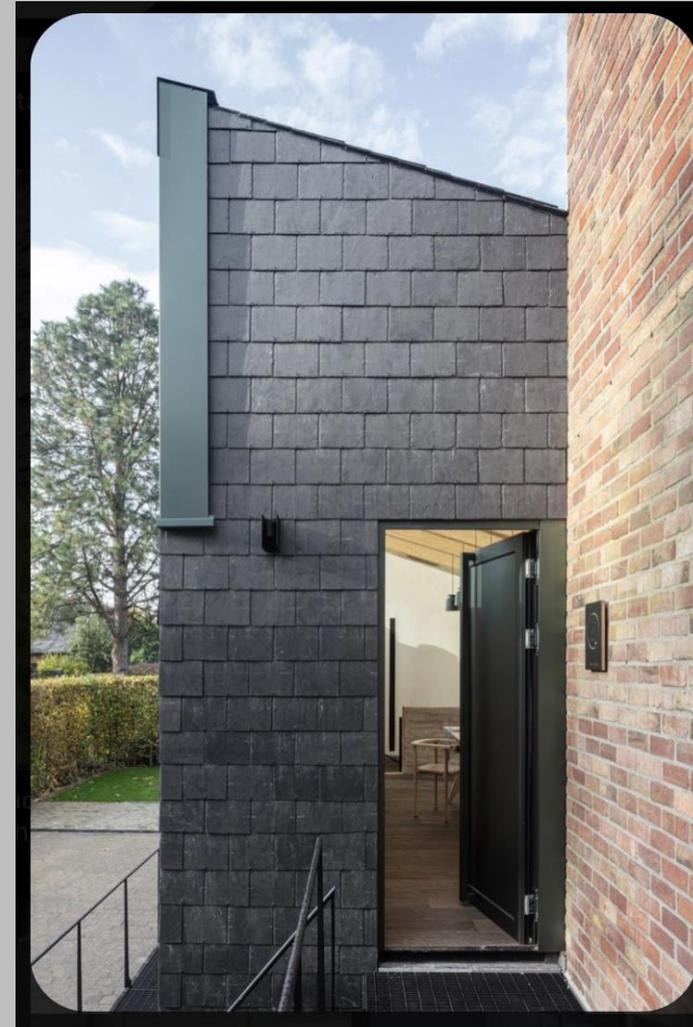
	échantillon 1	échantillon 2	échantillon 3	
Mesure A	0,10	0,05	0,02	
Mesure B	0,05	0,00	0,01	
Mesure C	0,07	0,01	0,01	
Moyenne:	0,08	0,02	0,01	0,04

Maçonneries et Pavage chauffant

Traditionnelle 3 ½ po de prof. x 4 po Hauteur x Longueur variable / Surface naturelle

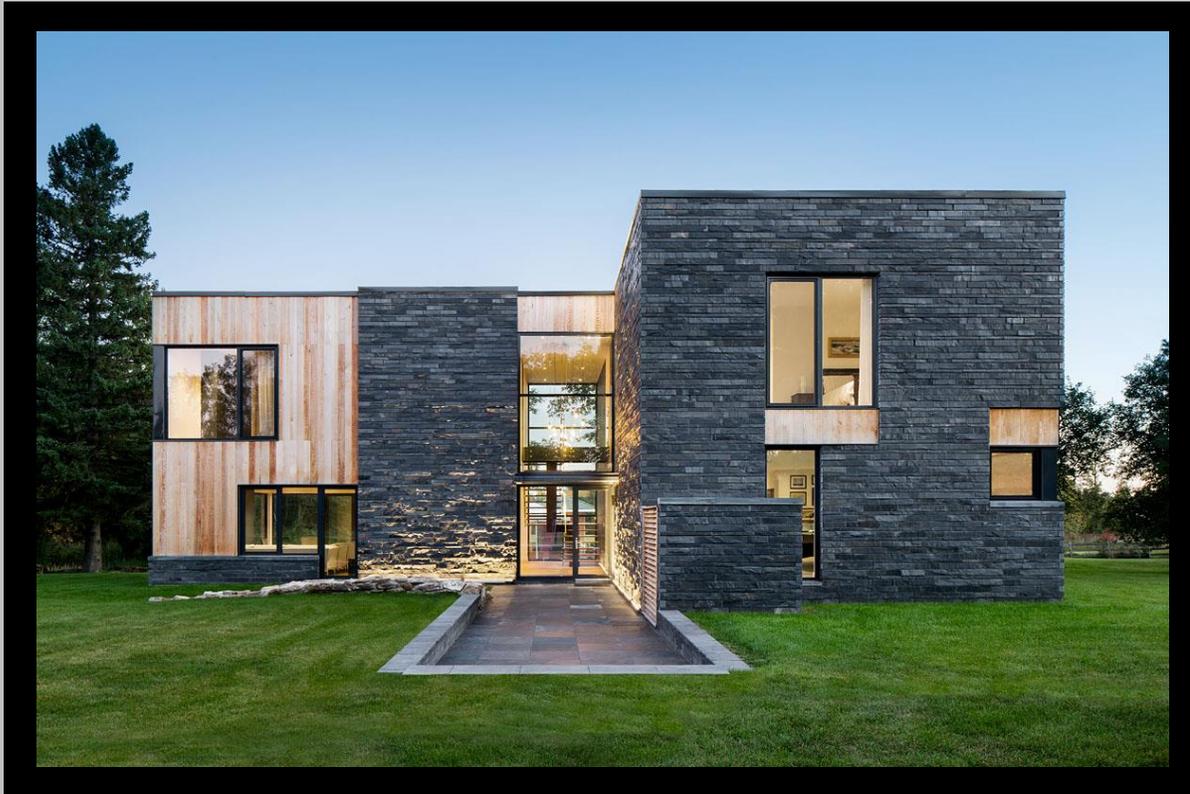


Bardeaux à recouvrement mural



Maçonneries

Traditionnelle +/- 3 ½ po de prof. x Hauteur variable x Longueur variable
Surface naturelle

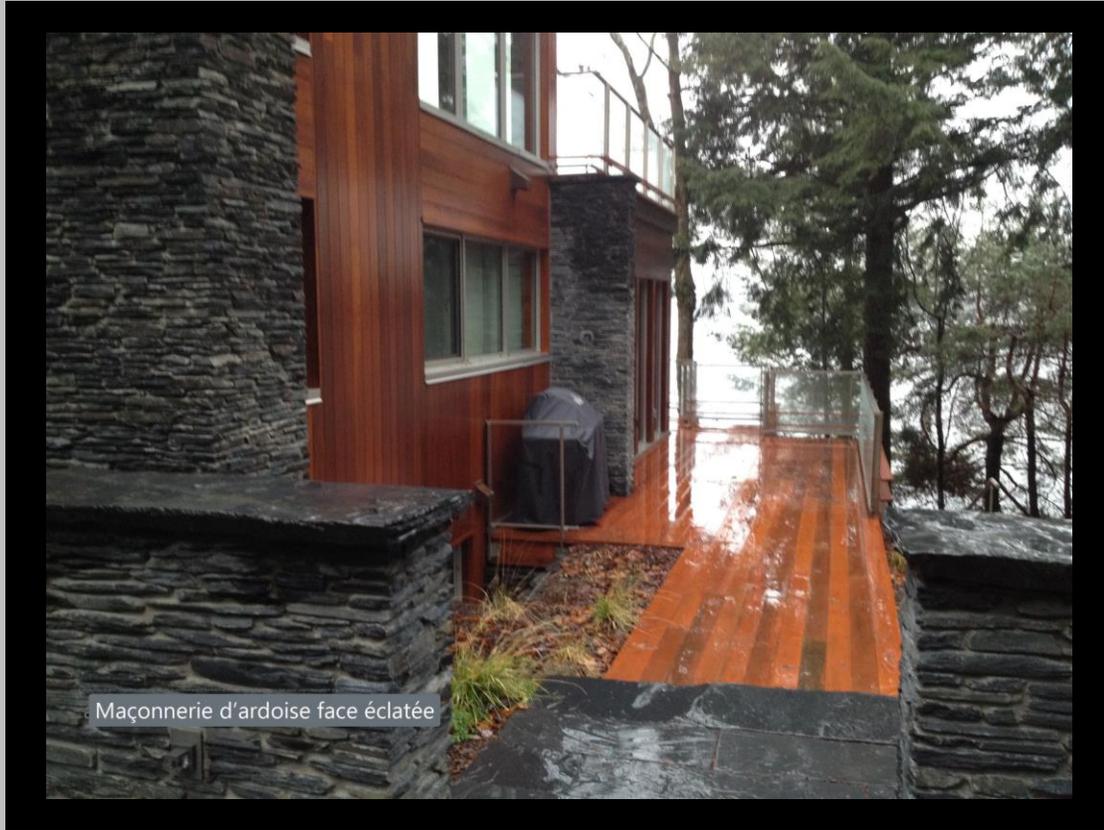


Traditionnelle 3 ½ po de prof. x 4 po Hauteur x Longueur variable
Surface brossée



Maçonneries

Maçonnerie quernée



Maçonnerie légère



Maçonneries

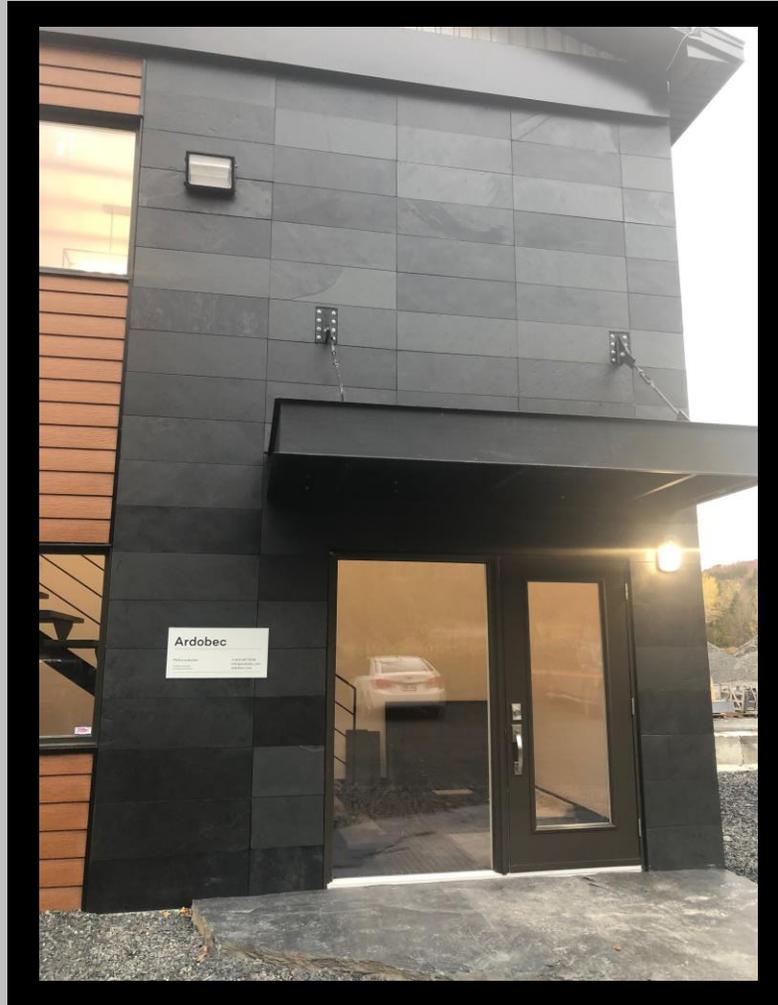
Maçonnerie naturelle face sciée



Maçonnerie naturelle 3 ½ po



Tuiles pour recouvrement mural

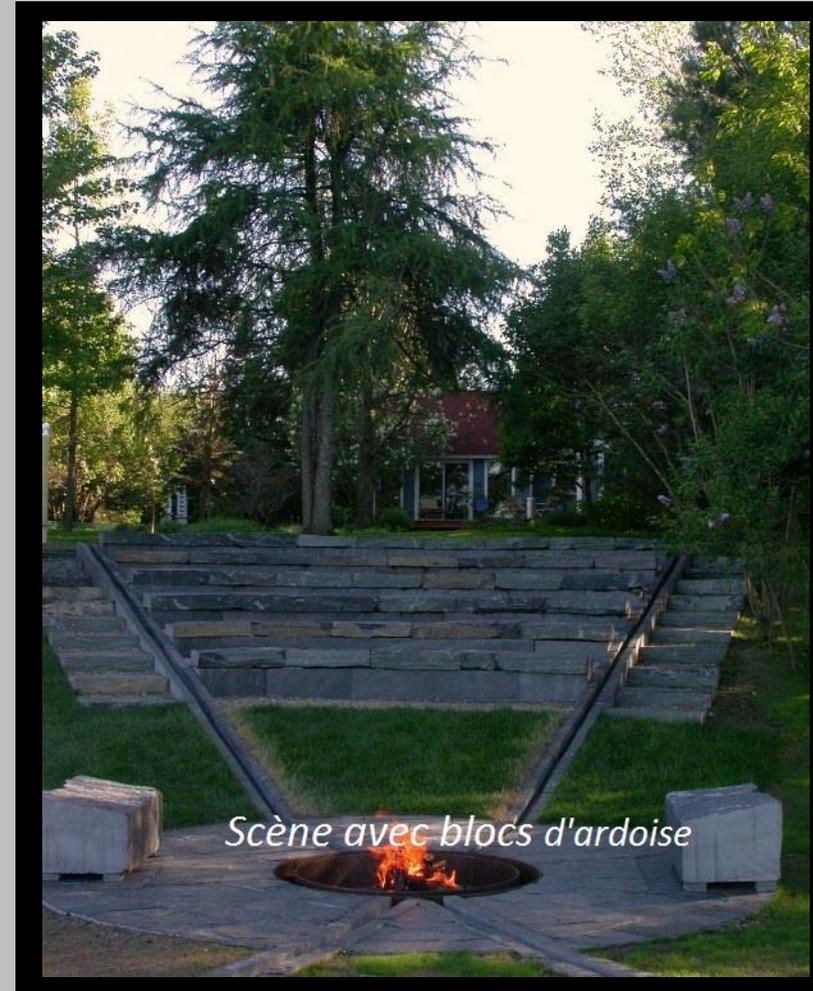
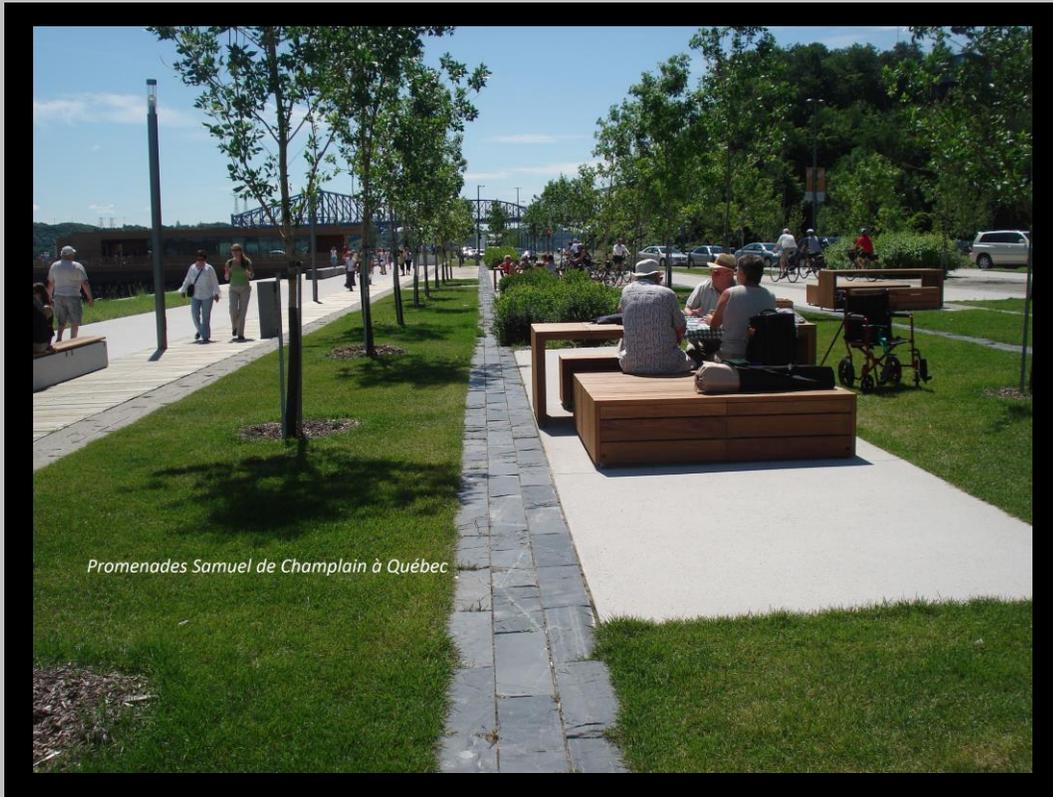


Pavage institutionnel

Pavage 60mm d'épaisseur - Parc Jean-Drapeau, Montréal



Aménagement paysager



Comptoirs

Comptoirs de laboratoires l'Université de Montréal

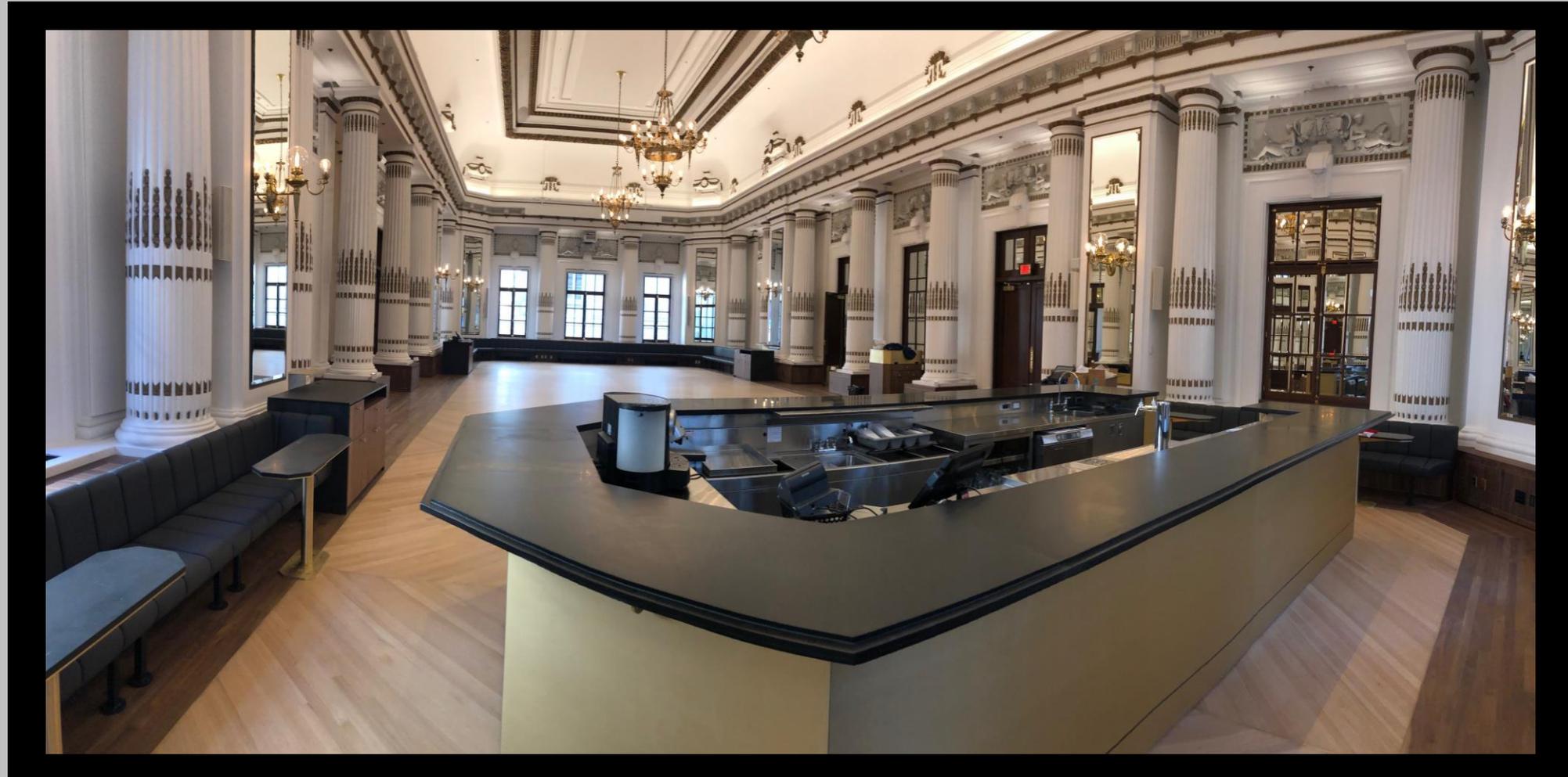


Comptoir 25mm naturel brossé avec égouttoir et évier en ardoise



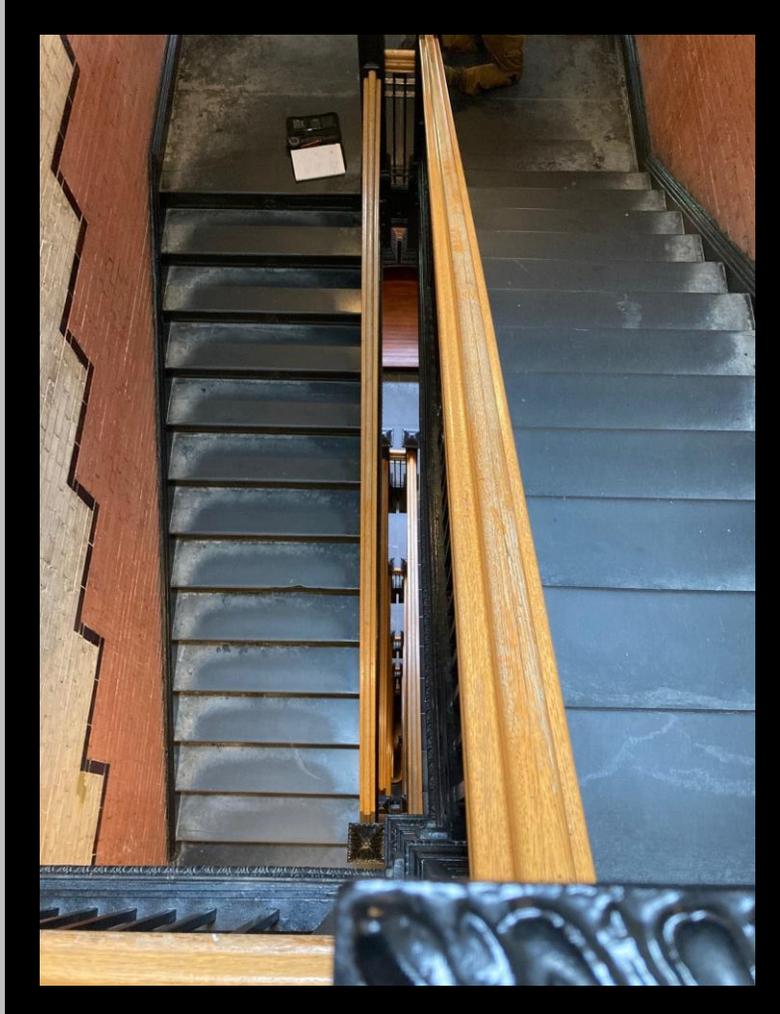
Comptoirs

Comptoirs du Parlementaire à l'Assemblée Nationale du Québec

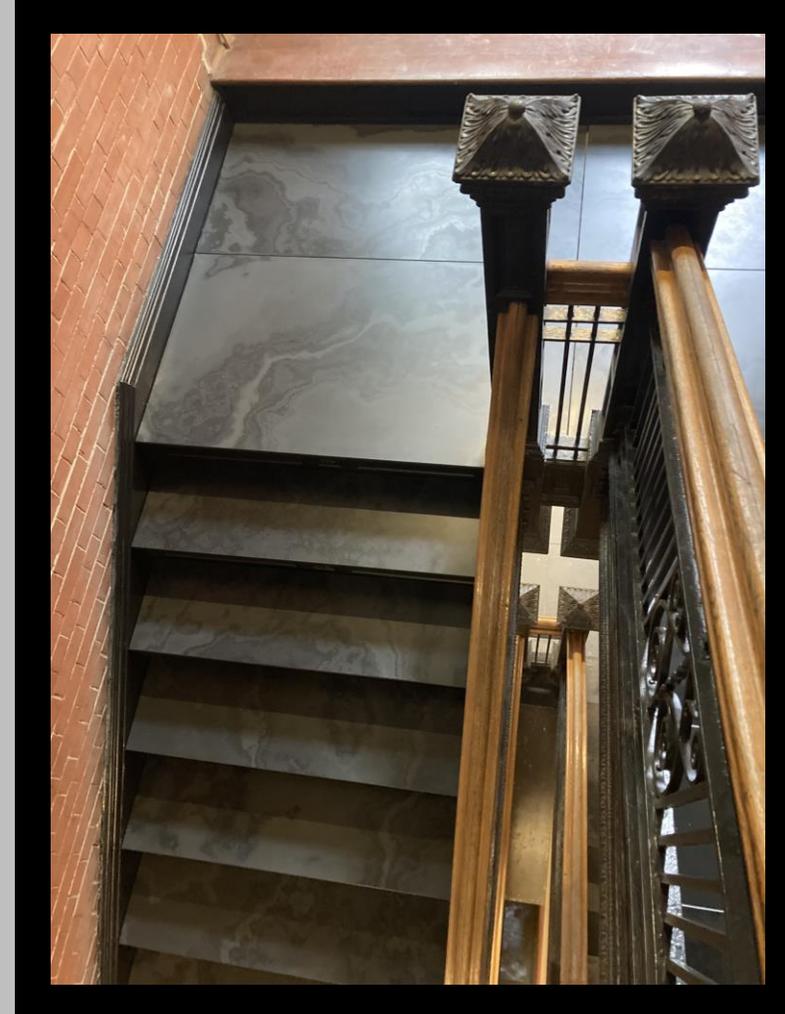


Marches intérieurs

Marches intérieurs 25mm - Petit Séminaire de Québec
Entre 175 et 350 ans d'usure



Marches intérieurs 25mm - Université McGill
125 ans d'usure

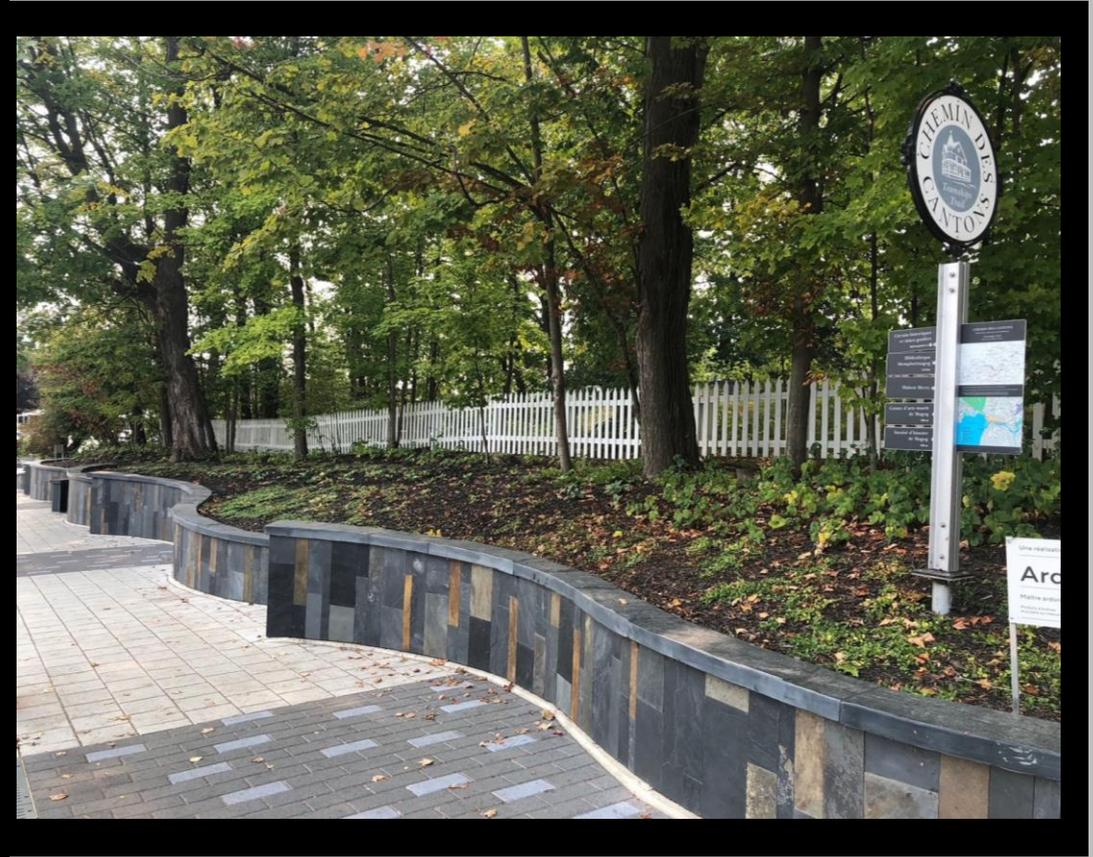


Recouvrement de béton

Pavage hybride, marche massive et recouvrement du perron de béton avec dalles de 25mm



Recouvrement mural d'un mur de béton avec couronnement sur mesure



IMPERMÉABILITÉ

Toitures bonnes de 75 à 300 ans

Structure : 8 lbs (3,6 kg) / p2

ABSORPTION D'EAU. ASTM C121

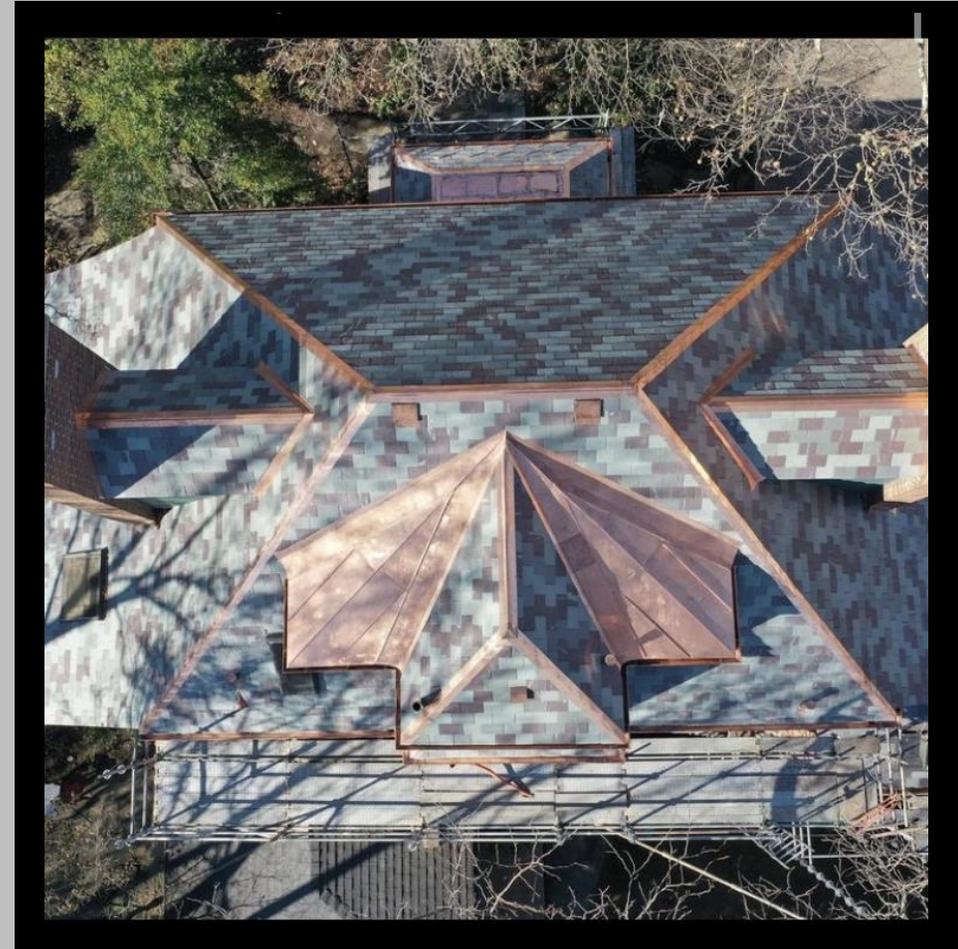
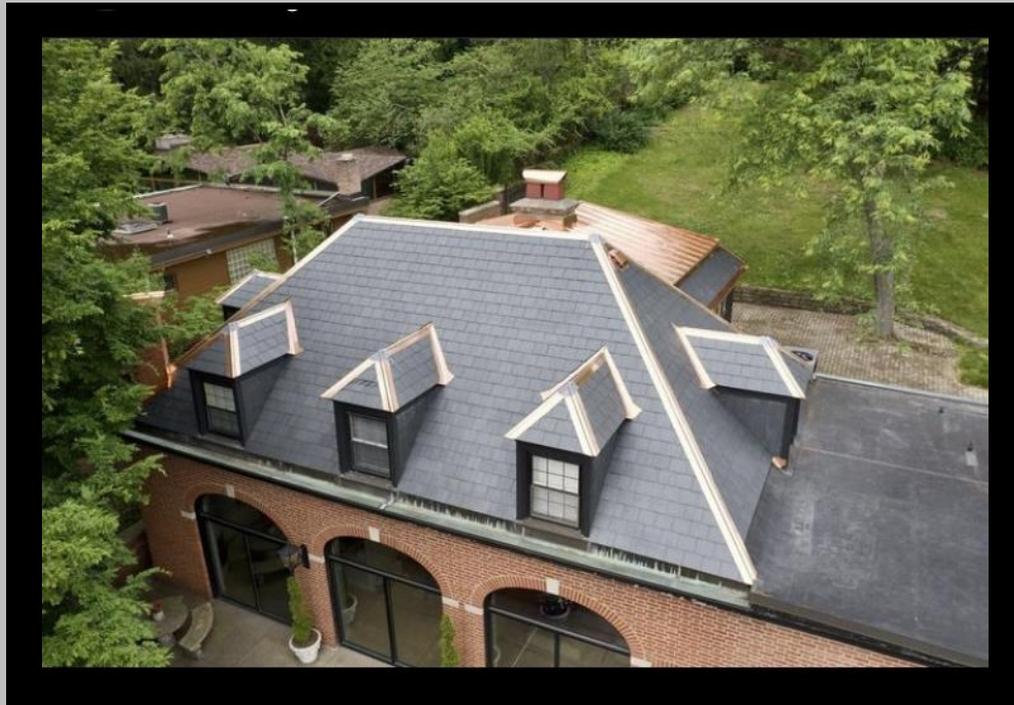
Procédure:

- Séchage à 60°C pendant 48 heures
- Immersion dans l'eau distillé à 70°C pendant 48 heures

Résultats:

Echantillon	masse à sec	masse après immersion (g)	absorption en % poids (%)
1	819,49	820,66	0,14
2	808,60	810,00	0,17
3	840,46	841,77	0,16
4	818,11	819,28	0,14
5	832,38	833,84	0,18
6	833,08	834,32	0,15
Moyenne			0,16

Bardeaux à toiture

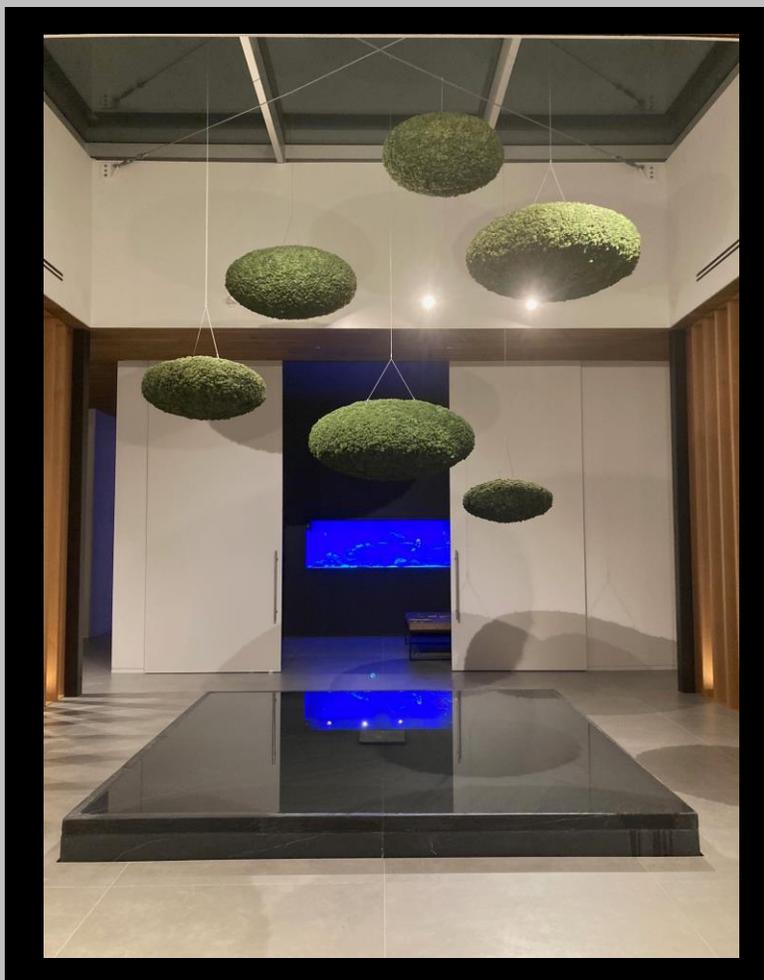


Bardeaux à recouvrement mural

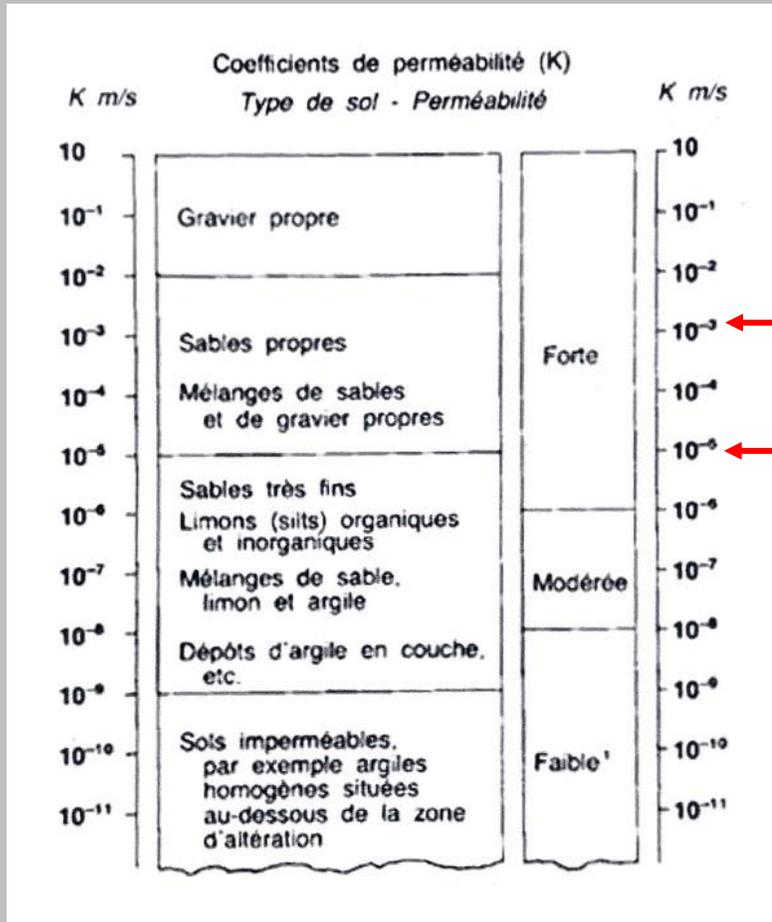


Projets sur mesure

Bassin intérieur 10 pi x 10 pi à débord infini



CIRCULARITÉ DU CYCLE DE VIE



20 - 50 mm = 1,70 x 10 E-3
 50 - 125 mm = 1,45 x 10E-4
 0 - 8 mm = 3,0 x 10E-5
 10 - 25 mm = 7,03 x 10E-5

Ardobec ne produit aucun résidu, car elle transforme l'entièreté de ce qu'elle extraie.

Les résidus sont en effet tamisés pour faire des paillis et des agrégats pour l'aménagement paysager et la **gestion des eaux**, permettant de créer des **surfaces perméables**.

Le 0-8mm devient un pavage perméable fait à partir de matériaux 100% recyclés

Paillis et agrégats

Ardobec ne produit aucun résidu, car elle transforme l'entièreté de ce qu'elle extraie.

Les résidus sont en effet tamisés (et non concassés) pour faire des paillis et des agrégats.

(moins d'énergie et format plus oblongue que sphérique)



Paillis (pour des surfaces perméables, ininflammables et imputrescibles) :

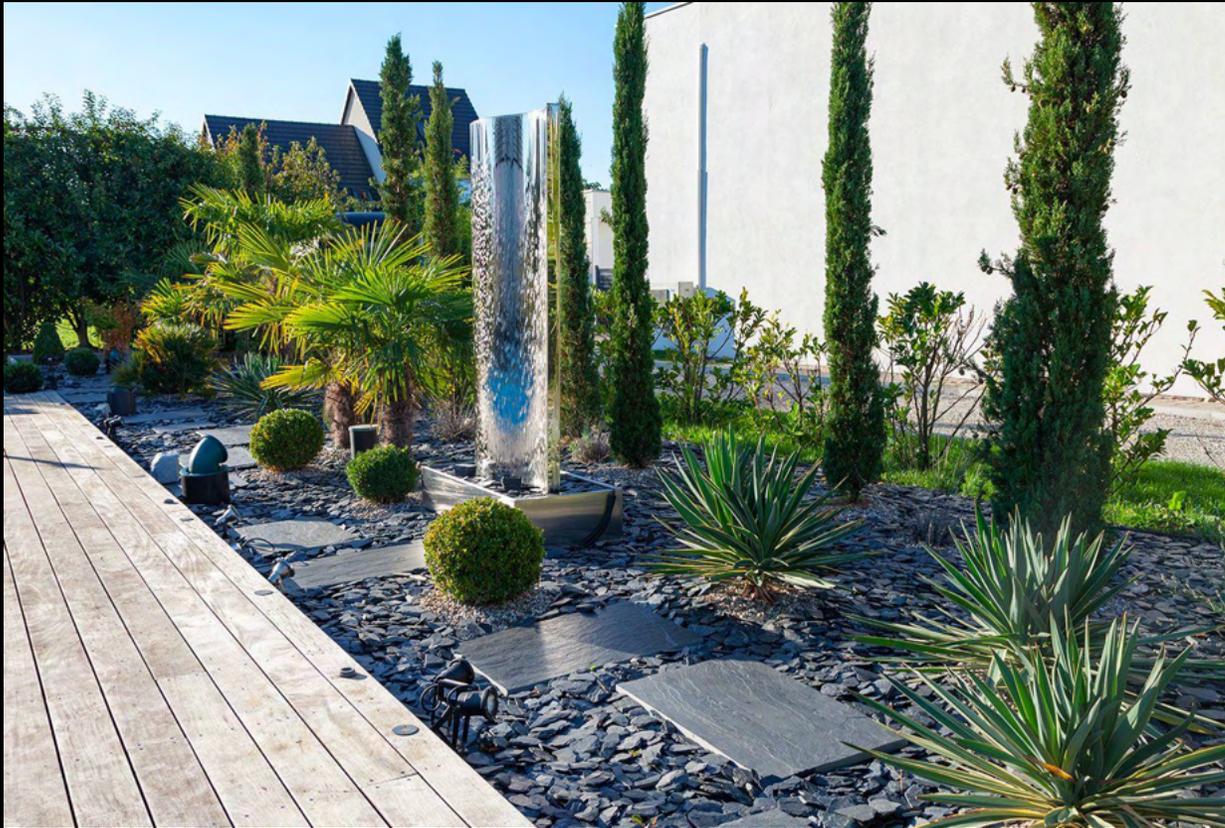
- $\frac{1}{2}$ - 1 po (pour entrée de cours, bandes de propreté, place piétonnes)
- $\frac{3}{4}$ - 2 po (pour plate-bandes, toitures vertes)
- 2 - 5 po (pour gestion des eaux en travaux civils, toitures vertes, gabions)

Agrégats (pour des surfaces dures, compactes, perméables et sans poussières) :

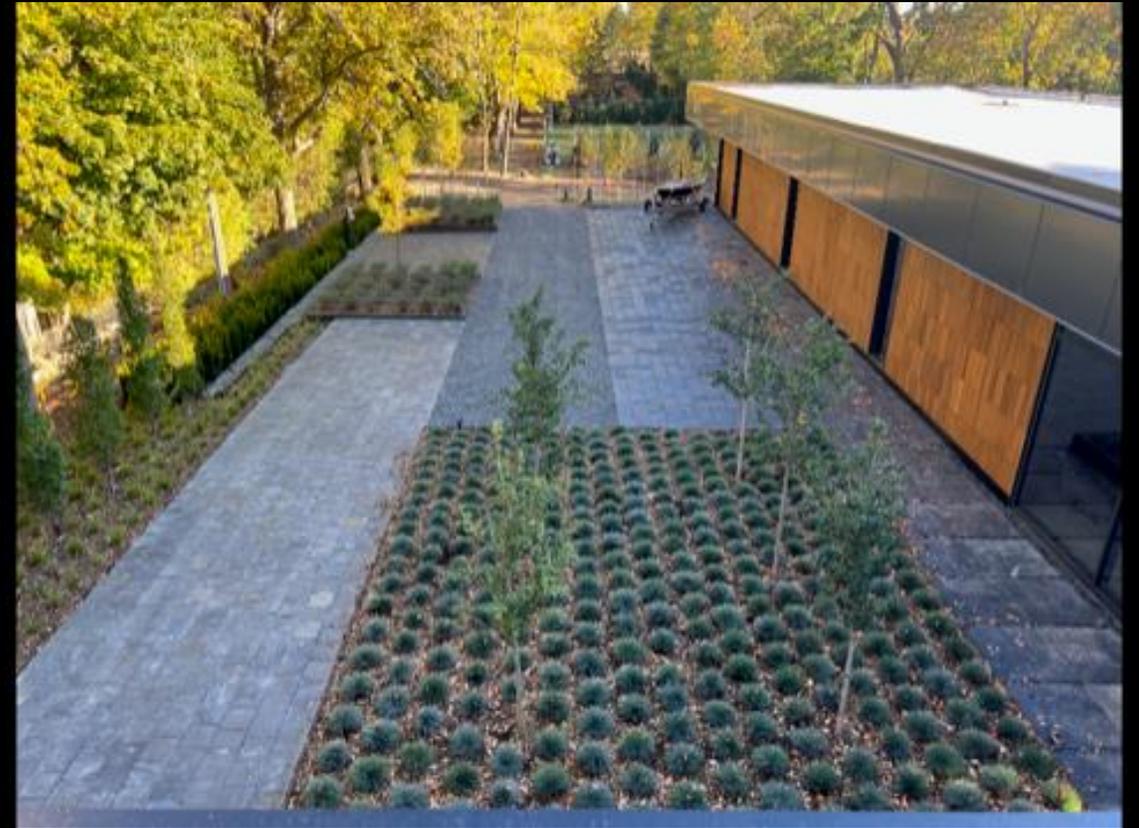
- 0 - $\frac{3}{4}$ po (pour surfaces véhiculaires piétonnes)
- 0 - $\frac{1}{4}$ po (pour sentiers pédestres et pistes cyclables)

Paillis et agrégats

Paillis et pavage



Pavage véhiculaire et agrégats

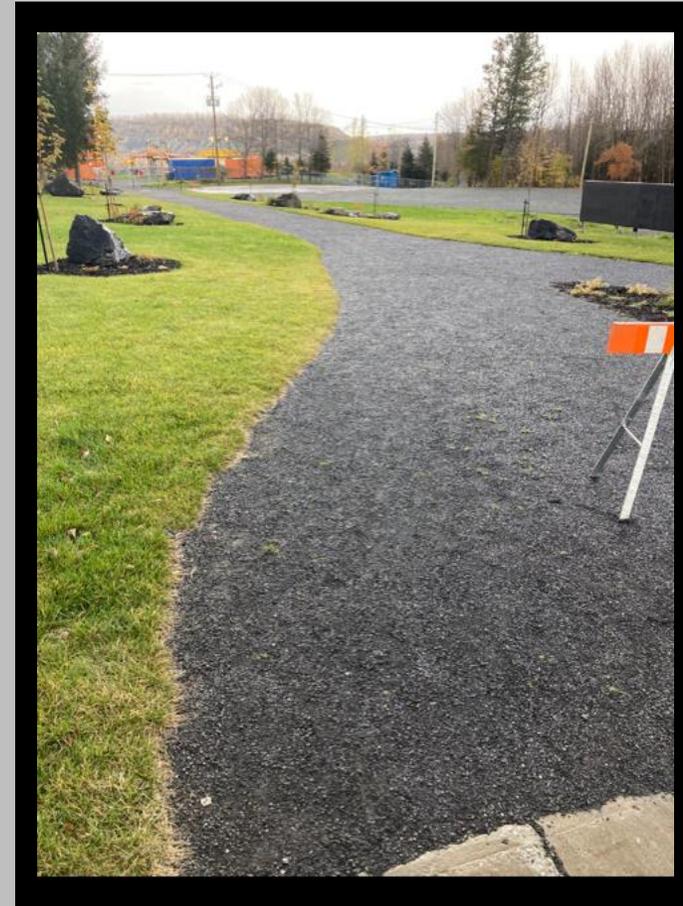


Paillis et agrégats

Agrégat 0-3/4



Agrégat 0-1/4



Retour aux sources



Esthétique et langage de l'ardoise

Minimaliste

Paysan / Modeste (*pierre des pauvres*) / Pierre accessible

Vernaculaire / Patrimoine

Force passive / Force tranquille

En harmonie avec / porté vers le paysage / Organique

Durable / éternel / pérenne ce qui pousse à l'intégrer dans un design réfléchi

Réparation/amélioration du tissu urbain de manière très durable et harmonieuse

Matte / richesse dans sa réaction à la lumière

Caractéristiques haut de gamme au caractère sobre.

Ardobec

PATRIMOINE MODERNE

Produits d'ardoise et projets sur mesure

Danville/Val-des-Sources, QC