



HAL
open science

Granulats en argile expansée utilisés en technique routière

Yasmina Boussafir, Philippe Reiffsteck, Xavier Kestemont

► **To cite this version:**

Yasmina Boussafir, Philippe Reiffsteck, Xavier Kestemont. Granulats en argile expansée utilisés en technique routière. *Revue Générale des Routes et de l'Aménagement*, 2022, 990, pp.36-40. hal-04423910

HAL Id: hal-04423910

<https://univ-eiffel.hal.science/hal-04423910>

Submitted on 8 Feb 2024

HAL is a multi-disciplinary open access archive for the deposit and dissemination of scientific research documents, whether they are published or not. The documents may come from teaching and research institutions in France or abroad, or from public or private research centers.

L'archive ouverte pluridisciplinaire **HAL**, est destinée au dépôt et à la diffusion de documents scientifiques de niveau recherche, publiés ou non, émanant des établissements d'enseignement et de recherche français ou étrangers, des laboratoires publics ou privés.

GRANULATS LÉGERS EN ARGILE EXPANSÉE UTILISÉS EN TECHNIQUE ROUTIÈRE

Le granulat léger Argex est utilisé dans de nombreux domaines : la construction (béton léger isolant, béton de structure, remblai isolant, blocs de maçonnerie légers, produits préfabriqués en béton, chapes...), les remblais légers géotechniques, les revêtements routiers en enrobé bitumineux, les substrats de culture et amendements de sol, la filtration d'eau... L'utilisation d'argile expansée comme granulat pour des plates-formes d'infrastructure de transport ou de bâtiment, beaucoup moins connue, méritait un focus particulier. Les principales recommandations de l'avis technique publié récemment sur ce sujet sont présentées dans cet article.

Les granulats légers en argile expansée.



© ARGEX

- AR8/16-340 GEO - rond de classe granulaire 8/16 mm ;
- AR4/10-430 GEO - rond de classe granulaire 4/10 mm ;
- AG4/8-370 GEO - concassé de classe granulaire 4/8 mm ;
- AG0/4-500 GEO - concassé de classe granulaire 0/4 mm.

Résistant et stable, l'Argex ne se déforme pas, est durable aux attaques chimiques ou biologiques, résiste au gel-dégel et au feu, est isolant, drainant, facile à mettre en œuvre et léger.

CARACTÉRISTIQUES

Les caractéristiques de l'Argex sont rappelées dans les fiches techniques produit (FTP), complétant les infos CE indiquées dans sa déclaration des performances (DDP), conformément à la norme NF EN 15732.

Le produit présente des caractéristiques idéalement adaptées aux applications géotechniques, avec des caractéristiques mécaniques surprenantes malgré sa légèreté (0,340 à 0,500 tonnes/m³ en vrac) et une compatibilité physico-chimique idéale pour toutes les situations.

Il est à noter que le granulat étant très léger (densité < 1), certains essais traditionnels ne sont pas pertinents à réaliser. C'est le cas de la valeur au bleu des sols, du Proctor, de l'essai Los Angeles et Micro-Deval.

IMPACT ENVIRONNEMENTAL

L'Argex est un matériau fabriqué à partir d'une ressource naturelle disponible et renouvelable. Son processus d'élaboration conduit à créer un volume de granulat 5 fois supérieur au volume d'argile extraite initialement (1 m³ d'argile produit 5 m³ d'Argex). Son poids est un atout pour le transport du produit (moins de gaz à effet de serre, moins de charge lourde sur la route).

L'Argex se prête idéalement au recyclage. En effet, en vrac, il peut être réutilisé à l'infini sous réserve de ne pas être contaminé. Par exemple, les remblais routiers peuvent être démontés et valorisés dans un nouveau projet routier pour créer de nouvelles

Argex SA

Cette entreprise belge indépendante produit des agrégats légers d'argile expansée à Burcht-Zwijndrecht depuis plus de 55 ans.

FABRICATION ET CARACTÉRISTIQUES

Du fait de son procédé de fabrication, l'Argex constitue un matériau d'origine minérale aux caractéristiques maîtrisées :

- L'argile extraite en carrière est d'abord malaxée et homogénéisée en usine. Après extrusion, des bâtonnets d'argile sont cuits à haute température dans un four rotatif, ce qui confère une structure arrondie et alvéolaire au matériau en sortie de four, à la fois légère et rigide.
- Le procédé d'élaboration du granulat léger, une fois le matériau refroidi, est classique aux installations de carrière : il comprend des opérations de criblage, concassage et stockage.
- Le procédé conduit à la fabrication de plusieurs types de produits caractérisés par leur classe granulaire, leur masse volumique en vrac de référence et leur éventuel concassage.

La norme NF EN 15732¹ est d'application pour le marquage CE de ces granulats utilisés en génie civil. Argex commercialise quatre produits pour des utilisations géotechniques :

AUTEURS

Yasmina Boussafir
Université Gustave Eiffel

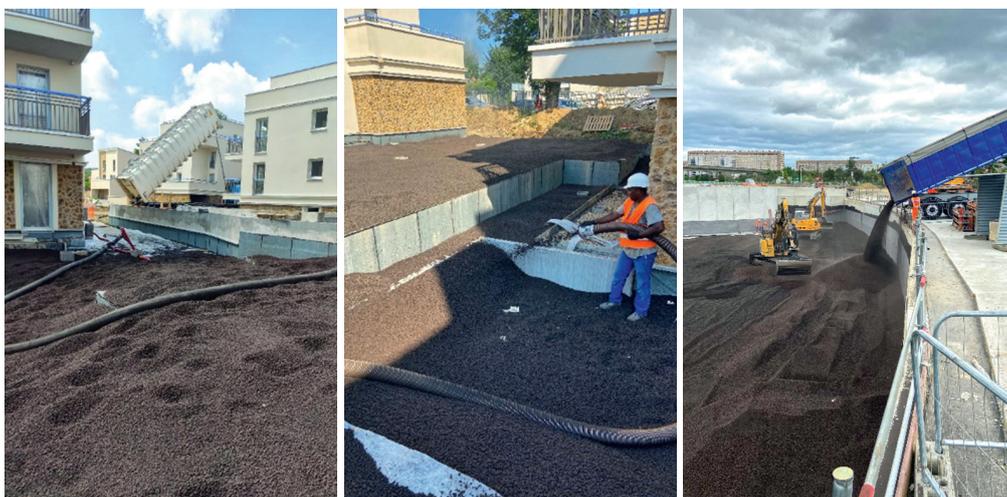
Philippe Reiffsteck
Université Gustave Eiffel

Xavier Kestemont
Entreprise Argex

-Tableau 1-

Références de chantiers français récents (autres références disponibles sur demande).

Date	Nom et lieu du chantier	Maître d'ouvrage	Maître d'œuvre	Entreprise	Produit Quantité	Hauteur de remblai (m) et autres informations
2018	Base Vie Paris 13 ^e – rue Louise Bourgeois	SNCF	Semapa	Ets Chantiers Modernes	70 cm d'Argex 8/16R mm + 10 cm de grave	Plate-forme en Argex + grave Plaque dynamique
2021	Grand Paris – Tram 12 express – Épinay-sur-Orge	IDF Mobilité	Egis/Arcadis	NGE	3 m 4/10R + 50 cm de grave	Photos 2 et 4
2021	Échangeur A14/ A86 – Nanterre	Ministère de l'Environnement, de l'Énergie et de la mer	Ingerop	Eiffage	5 m 8/16R	Photos 1 et 3
2021	Chantier Métal 57 – Siège BNP – Boulogne-Billancourt	BNP	Artelia	Terideal	1 m 4/10R + grave 30 cm	
2022	Gare de l'Est – Paris	SNCF		Razel Bec	1,4 m 4/10R + dalle béton 10 cm	
2022	Rose de Cherbourg – Puteaux		Ingerop	Colas	30 cm à 1,2 m 4/10R + béton de propreté + dalle béton 15 cm	Planche d'essai sur 30 cm de bille AR-4/10



-Photos 1-

Alimentation d'un chantier par camion-citerne ou par camion-benne, sur le chantier de l'échangeur A14/A86 à Nanterre.

formes, d'où une fiche de déclaration environnementale et sanitaire (FDES) particulièrement intéressante au sens de la norme NF EN 15804² (www.inies.fr, partie Remblais).

UTILISATION ET MISE EN ŒUVRE

L'utilisation des granulats légers bénéficiant d'un large retour d'expérience de chantiers (tableau 1), des recommandations en matière de mise en œuvre, semblables à celles que l'on trouve pour des granulats tendres, ont pu être émises.

La manipulation de l'Argex peut être assurée par des matériels classiques de terrassement et de génie civil. Les manipulations excessives qui pourraient augmenter le concassage des granulats, tout comme l'excès de compactage, doivent être évitées. Les granulats sont livrés par camion-benne, ou, lorsque l'accès au site est complexe, par camion-citerne pour soufflage, le matériau étant particulièrement bin adapté à ce mode de mise en

œuvre (photos 1). Les granulats peuvent aussi être stockés comme des matériaux conventionnels.

PRÉPARATION DU SUPPORT

La préparation du support inclut un nettoyage classique du site de construction ou un compactage de la surface sous infrastructure, et la pose d'un géotextile anti-contaminant entre le sol support et le remblai d'Argex. Les excès d'eau en fouille doivent être pompés au moment de la mise en œuvre, jusqu'à un niveau acceptable, pour diminuer les risques de flottation et faciliter la mise en œuvre et le compactage.

MONTAGE DU REMBLAI

Le granulat léger doit être mis en couche de moins d'un mètre d'épaisseur après installation des supports latéraux pour être complètement enveloppé. Le régalage est réalisé par un équipement classique (pelles, chargeurs ou bouteurs à chenille) (photos 2). Cette mise en place peut être combinée avec la procédure de compactage.

-Photos 2-

Mise en place au bouteur (a) ou à la pelleuse (b), sur le chantier du Grand Paris – Tram 12 express, à Épinay-sur-Orge.



COMPACTAGE

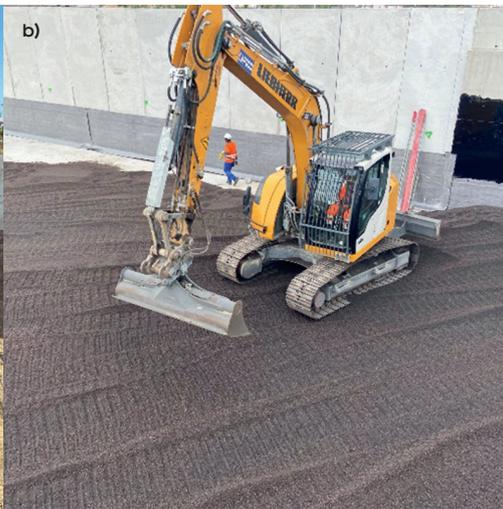
Le matériau étant un granulat insensible à l'eau, l'énergie à dégager pour le compactage est faible. Il s'agit plus d'une opération de serrage que d'une opération de compactage (photos 3). De fait, il n'y a pas d'optimum à rechercher sur ce matériau, mais une réduction des vides liés au foisonnement, de l'ordre de 12-16 % pour les granulats ronds et de 20-26 % pour les granulats concassés.

Les matériels de compactage requis sont donc plutôt petits et plus légers que pour des opérations de compactage traditionnels, de type plaques vibrantes ou petits compacteurs vibrants, ce qui présente un intérêt pour réduire les nuisances dues à la vibration et au bruit.

Le matériau peut être utilisé par tout temps et dans de très nombreuses configurations, pourvu que le blocage puisse être assuré latéralement ou en surface. De très nombreuses applications sont possibles derrière des soutènements (y compris de mur de quai), en voirie urbaine, remblayage de tranchée, pour des structures drainantes, des projets de végétalisation (par exemple en toit ou terrasse), etc. Une fois mis en place, le produit présente une très grande stabilité et est facilement ré-excavable.

-Photos 3 -

Mise en œuvre d'une rampe (a) et pelleuse en action (b), sur le chantier de l'échangeur A14/A86, à Nanterre.



CONCEPTION ET DIMENSIONNEMENT DES OUVRAGES

La conception et le dimensionnement d'ouvrage utilisant de l'Argex peuvent être réalisés par tout bureau d'études en géotechnique habitué à dimensionner les ouvrages en terre, à partir des résultats d'essais fournis.

Les études de dimensionnement nécessiteront, selon le contexte du chantier :

- des études hydrogéologiques pour définir les niveaux de nappes et les débits attendus, ainsi que les dispositifs drainants à associer le cas échéant ;
- la définition et le dimensionnement des ouvrages de blocage latéraux et de la couche de blocage en surface ;
- la vérification de la stabilité de l'ouvrage en granulat léger en talus ;
- la vérification des poussées horizontales et verticales sur les fondations et parois d'ouvrage.

DIMENSIONNEMENT POUR CHAUSSÉES

L'Argex nécessite la mise en place d'une couche de blocage à sa surface pour pouvoir compresser le matériau et mobiliser ainsi ses principales caractéristiques (photos 4). Le granulat léger seul ne peut pas assurer la traficabilité attendue sur une plate-forme, du fait de l'absence naturelle de cohésion. L'épaisseur de la couche de blocage, qui jouera le rôle d'une couche de forme, permet de dimensionner la plate-forme obtenue selon le GTR 92³ ou la norme NF P 98-086⁴, à partir d'une PF2, voire d'une PF2qs.

Il est ainsi possible d'obtenir un module EV_{DYN2} de 50 MPa en tout point de mesure avec l'AR8/16-340 surmonté de 0,30 m d'une couche de blocage en grave non traitée 0/31,5mm correctement compactée.

Les recommandations d'épaisseur pour cette couche de blocage/couche de forme surmontant l'Argex en PST sont récapitulées dans le **tableau 2**.

–Photos 4–

Mise en œuvre de la couche de blocage sur l'Argex en partie supérieure de terrassement (PST), sur les chantiers du Grand Paris – Tram 12 express, à Épinay-sur-Orge, et de la déviation de la RD 120, à Aubry.



	PF2	PF2qs
Épaisseur optimisée de la couche de blocage sur de l'AR8/16, AG4/8 et AG0/4	20 à 30 cm	40 à 50 cm
Épaisseur optimisée de la couche de blocage sur de l'AR4/10	10 à 30 cm	30 à 50 cm

–Tableau 2 –

Optimisation du complexe Argex / couche de blocage pour une plateforme d'infrastructure en fonction du type de granulat léger utilisé et des conditions de chantier.

Il est intéressant de noter que les performances obtenues avec l'AR4/10 sont en règle générale nettement meilleures qu'avec les trois autres produits.

DIMENSIONNEMENT POUR SUPPORTS DE FONDATION OU D'OUVRAGE

Le granulat d'argile expansée se classe comme un gravier moyen (NF EN ISO 14688-1⁵).

Des essais pressiométriques ou au pénétromètre permettent de déterminer les facteurs de portance pour les fondations superficielles, comme usuellement réalisés selon les annexes D et E de la norme NF P 94-261⁶. À titre indicatif, des mesures obtenues à une profondeur de 1 à 2 mètres oscillent entre 2 et 5 MPa en résistance de pointe et sont de l'ordre de 0,95 MPa en pression limite, ce qui classerait ces matériaux en sables et graves moyennement denses (NF P 94-261, tableau A.2.1).

Le calcul du module d'Young peut être réalisé sur la base du module pressiométrique tangent avec les relations de la norme NF P 94-261, annexe J tableau J.2.1 ou des données du dossier géotechnique. Les valeurs déduites des essais pressiométrique Ménard selon la norme NF EN ISO 22476-4⁷, multipliées par un facteur 3 correspondant à un sable dense, sont équivalentes aux modules d'Young obtenus par essai triaxial à une déformation inférieure à 1 %.

Un coefficient de Poisson de 0,4 a été observé lors des essais triaxiaux du dossier géotechnique.

Par défaut, pour les ouvrages peu complexes (catégories géotechniques GC1 et GC2 au sens de

l'Eurocode 7 partie 1 de 2000), c'est-à-dire dans un contexte géotechnique simple (GCC1), et ou les conséquences d'une rupture seraient faibles à normales (CC1 ou CC2), les paramètres de déformabilité seront pris dans le cadre de l'élasticité avec un module d'Young de 15 MPa pour une déformation autour de 1 %, puis 5 MPa au-delà. Cette valeur sera considérée pour une contrainte de confinement effective inférieure à 80 kPa.

Dans un contexte géotechnique plus complexe (GC3) et pour une modélisation plus sophistiquée, un modèle non linéaire tel que celui d'Oztoprak pourra être mis en œuvre.

Un jeu de paramètres de référence pour des applications en remblai support de fondation ou à l'arrière d'un soutènement est donné dans le **tableau 3**.

Le tassement dû au fluage pourra être évalué à partir des données du dossier géotechnique Argex. Une valeur de 0,14 % à 100 ans ressort des essais de fluage menés en laboratoire sur 90 h pour des surcharges en conditions œdométriques pouvant aller jusqu'à 150 kPa.

On rappelle que l'Argex présente une susceptibilité à la poussée d'Archimède. Bien qu'inférieure à celle des blocs de polystyrène, elle est à prendre en compte. La pression de soulèvement provoquée par l'immersion du massif de granulat est déduite du poids volumique.

Par exemple, pour un granulat AR 8/16-340 compacté, de poids volumique humide à long terme 6 kN/m³, on a

$$\sigma'_{uplift} = 6 - 10 = -4 \text{ kPa}$$

-Tableau 3 -
Valeurs des paramètres
mécaniques dans le cadre
d'une application d'Argex pour
des ouvrages peu complexes
(catégories géotechniques
GC1 et GC2 au sens de
l'Eurocode 7 partie 1 de 2000).

		Cohésion	Angle de frottement	Module d'Young	Module œdométrique	Coefficient de Poisson	Coefficient de poussée des terres au repos
Granulat d'Argex	Symbole	c'	ϕ'	E_{Young}	$E_{œd}$	ν	K_0
	Unité	kPa	°	MPa	MPa	-	-
AR-4/10-430	Pour $\epsilon=0,15\%$	0	35	50	100	0,40	0,45
	Pour $\epsilon<1\%$	0	35	15	32	0,40	0,45
AR-8/16-340	Pour $\epsilon=0,15\%$	0	35	35	70	0,40	0,45
	Pour $\epsilon<1\%$	0	35	15	32	0,40	0,45

Pour les fondations profondes traversant un remblai superficiel en matériau Argex AR 8/16-340, on pourra ne pas prendre en compte le frottement axial unitaire dans la couche (norme NF P 94-262⁹).

DIMENSIONNEMENT SOUS DALLAGE

L'Argex peut être utilisé pour des applications sous dallages, dans le cadre des normes de la série NF P 11-213 (DTU 13.3⁹). Si un remblai d'Argex est exécuté sur une dalle de béton ou un autre élément rigide en couche de remplissage, une attention particulière sera requise pour éviter tout surcompactage, entraînant création de fines et perte de volumes inutiles.

Une couche de blocage de 30 cm est conseillée à la surface du granulat léger d'Argex, épaisseur qui peut être réduite à 20, voire 10 cm, selon les conditions de mise en œuvre et le type de granulat utilisé (tableau 2). Le module de Westergaard du support du dallage sera déterminé sur cette couche de blocage par un essai à la plaque selon la norme NF P 94-117-3¹⁰ et devra être au moins égal à $K_w = 50 \text{ MPa/m}$ pour une plaque de diamètre égal à 75 cm.

DIMENSIONNEMENT POUR OUVRAGES DE SOUTÈNEMENT

Le granulat léger d'Argex peut aussi être utilisé en remblai technique pour des ouvrages de soutènement. On prendra en première approche la relation de Jaky, le matériau à l'échelle macroscopique étant granulaire avec une granulométrie assez serrée. Seul le risque de rupture des granulats sous forte contrainte ou la version concassée ayant un fort angle de frottement interne peuvent ne pas respecter totalement cette relation. Du fait de sa nature granulaire et en l'absence de traitement, aucun degré de surconsolidation ne sera pris en compte ($OCR=1$).

$$K_0 = (1 - \sin\phi) \cdot OCR^{0,5} = (1 - \sin\phi)$$

Par défaut, pour les ouvrages peu complexes (catégories géotechniques GC1 et GC2 au sens de l'Eurocode 7), c'est-à-dire dans un contexte

géotechnique simple (GCC1) et ou les conséquences d'une rupture seraient faibles à normales (CC1 ou CC2), les paramètres de rupture seront pris dans le cadre d'un critère de rupture de Mohr-Coulomb, avec un angle de frottement moyen de 35° avec une cohésion nulle pour les granulats ronds. Cette valeur sera considérée pour des épaisseurs maximales de 8 m ou une contrainte de confinement effective de 50 kPa.

Dans un contexte géotechnique plus complexe (GC3) et pour une modélisation plus sophistiquée, l'angle de frottement à prendre en compte est de 10 à 15° en moyenne avec une cohésion de 20 kPa, et une contrainte de pré-consolidation autour de 200 kPa.

Pour des niveaux de contrainte élevés et de grandes déformations où des ruptures de particules pourraient être attendues, une courbe enveloppe de type parabolique (type Hoek & Brown) est à envisager.

Les informations sur les caractéristiques des trois autres granulats sont disponibles dans leurs fiches techniques respectives.

CONCLUSION

Les granulats légers d'Argex sont des matériaux couramment utilisés pour des domaines d'emploi nécessitant de faibles masses volumiques ou pour des besoins spécifiques (drainage, végétalisation). L'avis technique rédigé en 2021 (disponible auprès de l'entreprise) fournit de nombreuses informations permettant d'envisager plus massivement leur utilisation comme matériau pour les ouvrages géotechniques : en support de chaussée ou de dallage, en support de fondation d'ouvrage ou en remblai technique.

Facile d'emploi et de très faible impact environnemental, l'Argex présente des caractéristiques qui nécessiteront quelques adaptations rappelées dans cet article, afin d'obtenir, au final, les mêmes performances que les matériaux usuels. ■

RÉFÉRENCES

1. NF EN 15732, « Matériaux de remplissage légers et produits isolants thermiques pour les applications du génie civil - Produits à base de granulats légers d'argile expansée », janvier 2013.
2. NF EN 15804+A2, « Contribution des ouvrages de construction au développement durable - Déclarations environnementales sur les produits - Règles régissant les catégories de produits de construction », octobre 2019.
3. LCPC/Sétra, *Guide des terrassements routiers (GTR) - Réalisation des remblais et des couches de forme*, 1992.
4. NF P 98-086, « Dimensionnement structurel des chaussées routières - Application aux chaussées neuves », mai 2019.
5. NF EN ISO 14688-1, « Reconnaissance et essais géotechniques - Identification et classification des sols - Partie 1 : identification et description », février 2018.
6. NF P 94-261, « Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations superficielles », juin 2013.
7. NF EN ISO 22476-4, « Reconnaissance et essais géotechniques - Essais en place - Partie 4 : essai au pressiomètre Ménard », mai 2015.
8. NF P 94-262, « Justification des ouvrages géotechniques - Normes d'application nationale de l'Eurocode 7 - Fondations profondes », juillet 2012.
9. NF DTU 13.3 P1-2, « Travaux de dallages - Conception, calcul et exécution - Partie 1-2 : critères généraux de choix des matériaux », décembre 2021.
10. NF P 94-117-3, « Sols : reconnaissance et essais - Portance des plates-formes - Partie 3 : coefficient de réaction de Westergaard sous chargement statique d'une plaque », décembre 2008.