

Gestion de l'état calcaïque des sols bretons

Un sol cultivé qui fonctionne s'acidifie naturellement

Le Massif Armoricain, de par son caractère très métamorphique, a des sols naturellement acides. Cette acidité structurée est difficilement modifiable car liée à la géologie des sols. Au contraire, l'acidité de fonctionnement liée à l'activité biologique des sols et à la croissance des plantes peut être compensée. Des amendements fournisseurs de bases (ions O^{2-} , OH^- , CO_3^{2-}) permettent de lutter contre ce phénomène. L'apport de carbonate de calcium neutralise l'acidité du sol et fournit du calcium nécessaire à la nutrition des plantes : $CaCO_3 + H_2O \rightarrow Ca^{2+} + 2OH^- + CO_2$.

Des amendements calcaires essentiels pour l'agriculture

Les amendements calcaires et/ou calco-magnésiens jouent un rôle important dans la fertilité des sols :

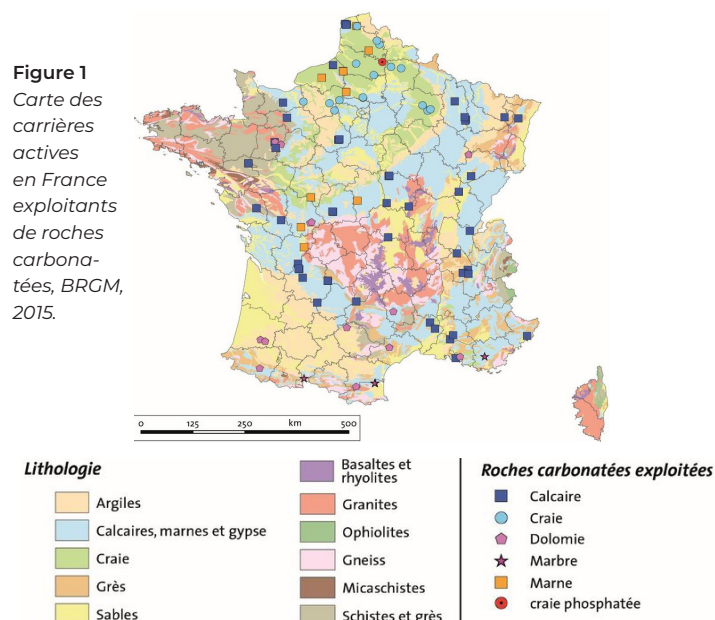
- Ils neutralisent l'acide produit par l'activité biologique et favorisent leur développement (l'accumulation d'acide freine l'activité biologique).
- Ils limitent la toxicité de l'aluminium très présent sur le massif armoricain.
- Ils augmentent la cohésion et renforcent la stabilité structurale des sols en renforçant les « liens Fer » entre la matière organique et les éléments minéraux du sol lors de la formation des complexes organo-minéraux.

Des amendements aux origines controversées

Il existe un large panel de produits utilisables en agriculture biologique, plus ou moins coûteux et intéressants : calcaires de carrière, trez, coquilles d'huîtres, coquilles d'œufs... En 2011, l'extraction du maërl a cessé en France. L'impact écologique des amendements calcaires est un sujet important à prendre en compte dans la gestion et le choix de ces apports.

• **1 Les calcaires de carrières** commercialisés en Bretagne proviennent, pour les plus proches, de Mayenne et de Loire-Atlantique. Les gisements de craie, marne et dolomie sont quant à eux encore plus éloignés : Vienne, Nord de la France (Figure 1). Les processus d'extraction sont également coûteux en énergie et ne sont pas sans conséquences sur l'environnement avec des risques de contamination des eaux souterraines par exemple.

Figure 1
Carte des carrières actives en France exploitantes de roches carbonatées, BRGM, 2015.



Carbonates

En minéralogie, il s'agit d'une famille qui regroupe pas moins de 200 minéraux ayant pour point commun la présence d'ion carbonate $[CO_3^{2-}]$. Exemple : calcite, aragonite, dolomite, etc.

Calcaires

Roches sédimentaires composées majoritairement de carbonate de calcium $CaCO_3$.

Chaux

Corps chimique minéral = Oxyde de calcium CaO .

- **Chaux éteinte** = $Ca(OH)_2$

Hydroxyde de calcium, résultat de l'extinction de la chaux vive avec de l'eau

- **Chaux vive** = CaO

Obtenue suite à un processus de chauffe à très haute température (calcination) du calcaire



En agriculture biologique, l'utilisation de **chaux vive** (oxyde de calcium - CaO) est totalement interdite. Les produits doivent être crus, naturels et non transformés (Règlement d'exécution (UE) 2021/1165).



Par abus de langage on utilise le terme *chaulage* ou *chauler* mais on préférera utiliser le terme **apport calcaïque**.

La majorité des carbonates est destinée au secteur de la construction, aux industries sidérurgiques, chimiques... Seuls 4% des volumes extraits en France (carbonates crus, hors chaux) sont destinés aux amendements agricoles ce qui représente environ 1 million de tonnes par an (BRGM, 2017). Diverses roches carbonatées sont utilisées en amendement.

Roche	Teneur en carbonates	Composition cristalline	Caractéristiques principales
"Calcaire"	90 à 95 %	Calcite Aragonite	Le terme "calcaire" est générique et regroupe une grande diversité de roches aux caractéristiques différentes (dureté, composition chimique, etc.)
Craie	> 90 %	Calcite	Roche très tendre, poreuse, forte sensibilité au gel
Calcaire marneux - Marne	35 à 55 %	Calcite Aragonite	Argiles (5-65%) : améliore la capacité de rétention du sol. Roche tendre, poreuse, friable ou élastique (selon l'humidité et la quantité d'argiles)
Dolomie	90 à 95 %	Dolomite Calcite	Roche tendre Apport de carbonates de calcium et de magnésium

Toutes ces roches contiennent une fraction d'impuretés leur conférant des propriétés : silice, argiles, glauconie, sulfures, oxydes, métaux, matière organique...

• **2 L'extraction de sables coquilliers** au large des côtes finistérienne et costarmoricaine est également un sujet sensible. Cet habitat fragile possède des fonctionnalités écologiques remarquables : rôle de frayère ou de nourricerie pour les poissons et crustacés, alimentation des cordons dunaires côtiers, réserve de sédiments carbonatés. On distingue deux gisements principaux dans les baies de Morlaix et de Saint Brieuc (Figure 2).

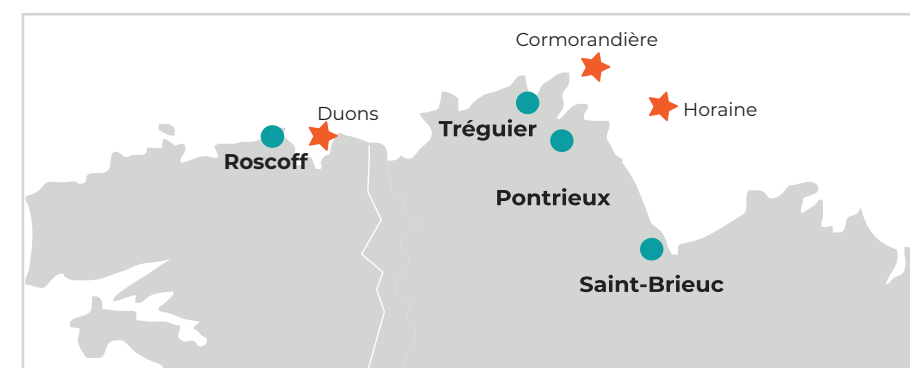


Figure 2 Carte des gisements de sables coquilliers exploités en Bretagne. CAN

Des alternatives locales et respectueuses se développent avec l'utilisation de déchets coquilliers (coquilles Saint-Jacques, huîtres, moules, crépidules...). Ils sont composés essentiellement de carbonates de calcium sous forme de calcite et/ou d'aragonite ainsi que d'une petite fraction organique. Leur intérêt agronomique est validé par plusieurs études.



Trez

Mot francisé ou traez = mot breton signifiant sable. Il s'agit de produits issus de débris coquilliers et de sables, dragués par des sabliers.

Lithotamne

Aussi appelé Lithothamnium calcareum ou phymatolithon calcareum et issu de la famille des corallinacées, c'est une algue rouge très calcaire poussant dans les fonds marins à faible profondeur, sur les côtes bretonnes, anglaises, etc. Elle est l'un des principaux constituants du maërl.

Maërl

Écosystème / habitat marin formé par les algues vivantes (algues corallinacées riches en calcaire) et par toutes les espèces qui s'y abritent. Son extraction est interdite depuis 2013 en Europe.

Quels sont les indicateurs pertinents pour choisir son amendement calcaire ?

🌱🌱🌱 indicateur essentiel 🌱🌱 indicateur secondaire

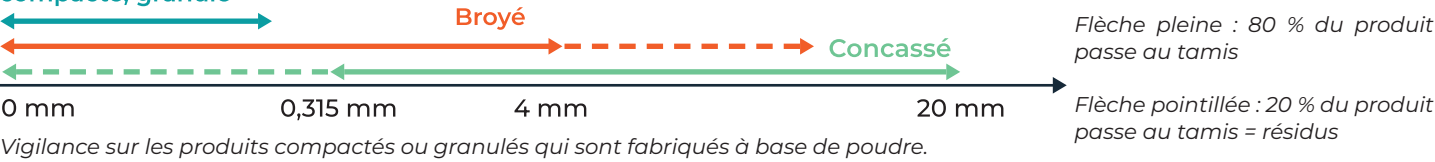
L'ORIGINE 🌱🌱🌱

Ce paramètre est nécessaire pour connaître les caractéristiques des roches (cf. tableau page 2).

FINESSE DE MOUTURE 🌱🌱🌱

La finesse de mouture conditionne la dégradation du calcaire dans le sol et donc la rapidité d'action. Les amendements grossiers (broyés, concassés) sont à privilégier puisqu'ils permettent une libération progressive. La forme de commercialisation du produit donne une première indication sur la granulométrie :

Pulvérulent, poudre, compacté, granulé



LA GRANULOMÉTRIE 🌱🌱🌱

Cet indicateur permet d'évaluer la répartition en masse suivant la taille des particules contenues dans le produit. Un amendement 0 - 8 mm contenant 50 % de poudre ou 9 % de poudre et majoritairement des éléments grossiers > 4 mm ne donnera pas les mêmes résultats agronomiques (Figure 3).

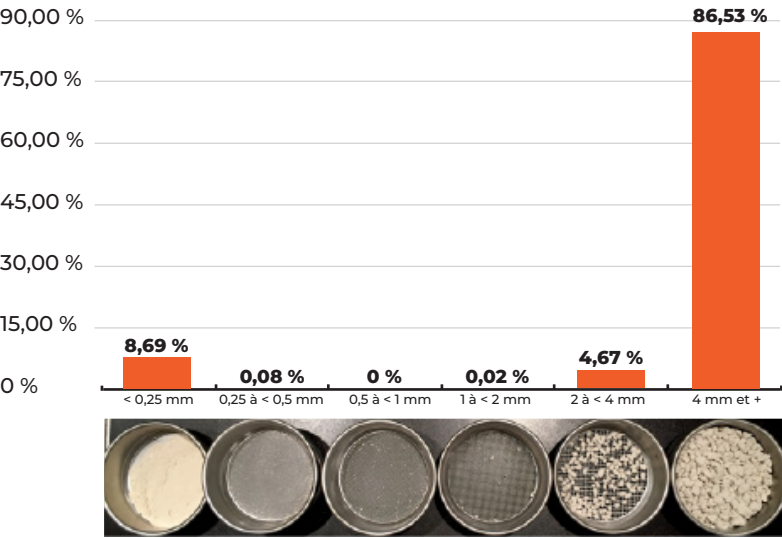


Figure 3 Granulométrie d'un calcaire de carrière présenté comme un 0 - 8 mm. Il devrait donc contenir toutes les tailles de particules entre 0 et 8 mm assurant une diffusion homogène sur le long terme, or c'est un 2 - 8 mm avec de la poussière de concassage. Ce produit va avoir une action à court terme grâce à la fraction poudreuse, mais rien à moyen terme sur les mois après l'apport.

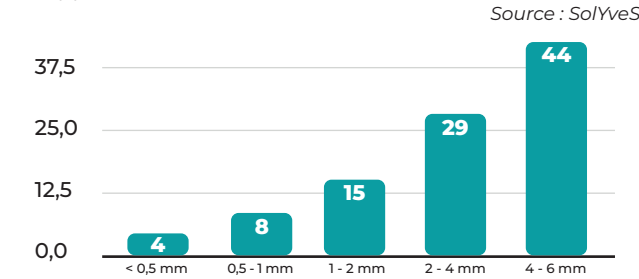
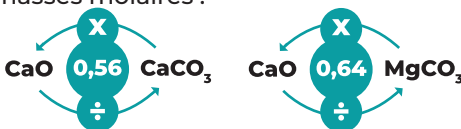


Figure 4 Granulométrie idéale pour un calcaire grossier 0 - 6 mm

L'idéal est d'avoir une répartition régulière des particules dans chaque classe granulométrique. Une dominance de fractions grossières à l'image de la figure 4 régule la vitesse d'altération du carbonate assujéti à l'activité biologique et aux besoins du sol. Les fractions pulvérulentes sont majoritairement dissoutes par l'eau froide, tandis que les fractions grossières seront attaquées par l'acide. **Les calcaires à moutures progressives libérant des bases au gré de l'activité biologique permettent ainsi l'auto-régulation des systèmes agricoles.**

TENEUR EN CARBONATES TOTAUX - %CaO, % MgO 🌱🌱🌱

La teneur en carbonates doit légalement apparaître sur l'étiquette des produits. Ces données sont exprimées en équivalent CaO ou MgO par convention bien qu'ils n'en contiennent pas. Le calcaire contient du carbonate de calcium / magnésium CaCO₃/MgCO₃. Les coefficients de conversion en CaO et MgO sont basés sur les masses molaires : Par exemple un calcaire simple à 54% Cao contient 54/0.56 = 96% CaCO₃ soit moins de 4% d'impuretés.

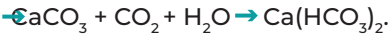


	Avantages	Inconvénients
Amendements secs	Poids et prix réels	Impact environnemental : coût énergétique du séchage Précautions pour le stockage (éviter la prise en masse des poudres)
Amendements humides (non séchés)	Produit brut, sans traitement supplémentaire Stockage facilité	Prix et dose à recalculer pour 1 tonne de CaCO ₃ sec : permet de comparer les produits et optimiser ses apports

SOLUBILITÉ CARBONIQUE SC 🌱🌱



Ce test est basé sur une relation de dissolution en milieu aqueux saturé en CO₂, sur une durée limitée (2 heures)



Les sols ne sont pas des milieux aqueux, ce paramètre a un intérêt limité. Les conditions expérimentales ne correspondent pas aux capacités réelles d'un sol, ni à l'évolution possible sur le long terme.

La SC est mesurée seulement pour les particules < 1,6 mm peu représentative pour les amendements grossiers. Une autre mesure de solubilité peut être communiquée : **la réactivité citrique**. Basée sur le même raisonnement, seules les conditions expérimentales diffèrent (échantillon de 5 g au lieu de 200 mg d'équivalent CaCO₃, 5 minutes au lieu de 2 heures).

INDICE DE POSITIONNEMENT AGRONOMIQUE 🌱🌱

Paramètre créé par une association de fabricants dans le but de "simplifier le conseil". Diverses caractéristiques sont prises en compte : nature et forme du produit, composition, finesse de mouture, SC. Il correspond au taux de saturation souhaité (S/CEC) ou plus simplement à la vitesse d'action du produit. Il a une échelle qui varie de 40 à 150. Plus l'amendement est soluble et/ou transformé industriellement, plus la valeur est haute (chaux CaO = 150). Cet indice a un intérêt limité. Il favorise les formes pulvérulentes, plus transformées et parfois plus onéreuses. Les calcaires grossiers sont plus intéressants du fait de leur libération progressive.

Amendements	Granulométrie	% "équivalent" CaO	% "équivalent" MgO	Fourchette de prix (HT/tonne, tarifs 2022)
Calcaire simple	Poudre	50 - 54	0 - 2	60 - 80 €
	Compacté, granulé			150 - 200 €
	Broyé, concassé			35 - 40 €
Calcaire mixte Calco-magnésien	Poudre, compacté, broyé, concassé	35 - 50	5 - 15	35 - 230 €
Dolomie	Poudre, broyé	30	20	35 - 80 €
Trez	0 - 2 mm ou 0 - 6 mm	35 - 44	0,5 - 1,2	20 - 35 €
Algues - lithothamne	Poudre, granulé, compacté	30 - 50	2 - 6	200 - 350€
Coquilles d'huîtres	Poudre, compacté, broyé, concassé	38 - 55	0 - 1	60 - 400€
Coquilles Saint-Jacques	Broyé	53	0,2	-

HUMIDITÉ 🌱🌱🌱

Le taux d'humidité n'influence pas le comportement de l'amendement dans le sol mais impacte le poids et se répercute ainsi sur le prix d'achat. Il peut fortement varier selon la saison. Un écart de 10% peut être constaté pour un amendement vrac humide entre l'été et l'hiver. **Être vigilant sur la période d'achat permet une économie.**

VALEUR NEUTRALISANTE VN 🌱🌱

Elle donne une équivalence entre l'amendement testé et la quantité d'oxyde de calcium CaO nécessaire pour neutraliser l'acidité de fonctionnement des sols. La VN ne donne pas d'informations sur la rapidité d'action mais indique un simple potentiel : VN = % CaO + 1,4 x % MgO. La magnésie MgO a une masse molaire plus faible que la chaux CaO ce qui explique les VN des dolomies supérieures pour une même masse.

Amendements enrichis ?

D'autres amendements "technologiques", enrichis en minéraux, phosphore, potassium ou avec des activateurs de sol sont disponibles sur le marché. Ces produits sont souvent vendus en petites quantités et à des tarifs élevés (100 à 900€/T). Pour développer un système plus résilient, avant l'utilisation d'amendements enrichis, plusieurs leviers agronomiques doivent être mis en oeuvre. Il est nécessaire de bien piloter la gestion de la fertilité de ses sols via les rotations culturales, un travail du sol cohérent, l'implantation de couverts végétaux, les apports en matière organique, etc.

Comment évaluer ses besoins en amendements basiques ?

En couplant observation des plantes, structure des sols et un test terrain simple (Figure 5) il est possible de définir si un apport est nécessaire ou non. Pour déterminer les quantités et la nature des apports calciques, des analyses complémentaires peuvent être nécessaires : dosage des AT (Alcalino terreux = bases), ratios Mg/AT (d'après la méthode BRDA-Hérody).

Observation terrain - test bêche

Quelques indicateurs d'alerte :

- Sol compact, phénomène de battance, colmatage. (Photos 1 et 3)
- Lente décomposition des matières organiques apportées dans le sol (fumiers, résidus de culture). (Photo 2)
- Présence de plantes bio-indicatrices de milieux dégradés, acidophiles : rumex, mousses, matricaires, chiendent, etc. (Photo 4)
- Disparition des légumineuses et des nodosités.



Photo 1. Compaction, traces d'hydromorphie (couleur bleu-rouille)



Photo 2. Matières organiques non-dégradées



Photo 3. Perte de structure



Photo 4. Sol acidifié

Test terrain

Pour valider le diagnostic visuel au champ, le test Carbo (méthode BRDA-Hérody) permet d'évaluer la présence de carbonates de calcium ou de magnésium dans le sol. Il repose sur une réaction chimique simple : $\text{CaCO}_3 + 2 \text{HCl}$ (acide chlorhydrique) $\rightarrow \text{CaCl}_2$ (dichlorure de calcium) + H_2O + CO_2 . Ce test est à effectuer sur le sol en surface et, en cas de doute, sur la roche mère.

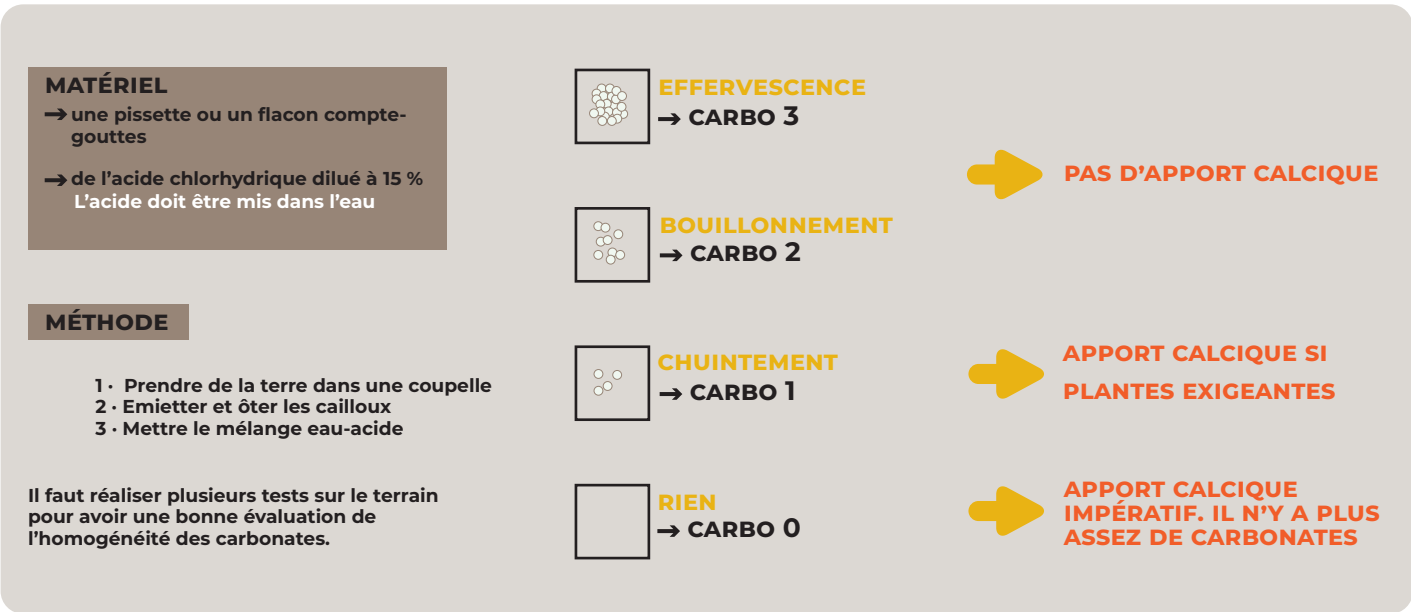


Figure 5 Test Carbo BRDA-Hérody

Faut-il coupler apports calciques et magnésiens ?

Les sols bretons sont majoritairement bien pourvus en magnésium et ne nécessitent pas forcément d'apport supplémentaire. Il faut cependant veiller à conserver un équilibre Calcium (Ca) / Magnésium (Mg) dans les sols pour maintenir une bonne nutrition minérale sans effets antagonistes (ratio Mg/AT entre 10 et 15% pour les sols cultivés (céréales, légumes, prairies) et 20 à 25 % pour l'arboriculture). Un excès de Mg fragilise la structure du sol (« soufflée ») ou encore perturbe l'absorption de Ca chez certains organismes vivants. Attention également aux apports de dolomie : la libération des carbonates de Ca et Mg se fait alternativement et peut provoquer des blocages ou un excès temporaire de magnésium.

Quand faire ses apports ? Quelle quantité ?

Il est primordial de faire ses apports calciques AVANT les apports de matières organiques (min. 2 jours d'intervalle) ou attendre au moins 15 jours à 3 semaines après les apports organiques. Cela permet d'éviter les pertes d'azote par volatilisation ammoniacale. Les apports doivent être effectués et incorporés en surface (10 cm).

D'autres précautions sont également nécessaires pour éviter les phénomènes de tassement ou de lessivage :

- Apporter après labour pour ne pas enfouir l'amendement
- Travailler en sol bien ressuyé
- Eviter les apports automnaux tardifs (notamment pour les produits pulvérulents)

En termes de quantité : apports de 2 à 10 tonnes par hectare selon les produits et situations tous les 2 à 10 ans.

Les apports calciques sont insuffisants à eux seuls pour maintenir la fertilité. L'activité biologique repose sur l'optimisation de plusieurs paramètres : un contrôle de l'eau par les aménagements paysagers, un travail du sol pour une bonne aération et une gestion organique appropriée.

Bibliographie

- Publication réseau GAB-FRAB, Adapter ses pratiques à la nature de son sol – Application de la méthode Hérody aux sols agricoles bretons.
- Charles N., Colin S., Lefebvre G. (2017). Mémento Carbonates calciques et magnésiens. Rapport final. Rapport BRGM/RP-67125-FR, 86 p. 33 fig., 9 tabl.
- Hérody Y. (2015), Le chaulage, l'état calcique des sols cultivés, Les fondamentaux de l'Agriculture.
- Normandie Fraicheur Mer – Rédaction IVAMER (2015), Projet Valcoqagri – valorisation des sous-produits Coquilliers en amendement calcique agricole.
- Pour aller plus loin : carte carrières France 2020 - git01m5_carrieres_fr_2154_2020_reduit.pdf (mineralinfo.fr)

Ils financent le projet



COORDINATION TECHNIQUE
Sarah Choupault - GAB22

RÉDACTION
Sarah Choupault, Agathe Marvillet - GAB 22, Yves Hardy - SolYveS

RELECTURE
Manu Bué - GAB 29, Antonin Le Champion, Clémentine Fayol - FRAB

CRÉDITS PHOTOGRAPHIQUES
Yves Hardy - SolYveS, Sarah Choupault - GAB 22

CONCEPTION
Aurélié Marc - GAB 22

REMERCIEMENTS
Fermes en agriculture biologique partenaires du projet :
GAEC Aux p'tits légumes, GAEC Biotifoul, GAEC de Quéré, GAEC des Goublayes, Ludovic André
Nos financeurs :
ADEME, Conseil Départemental des Côtes d'Armor

GAB 22
2 av. du Chalutier sans pitié · 22190 Plérin
gab22@agrobio-bretagne.org

www.agrobio-bretagne.org



impression en janvier 2023