

Calcul d'un risque phosphore à la parcelle

Objectif : Estimer un risque phosphore à la parcelle en croisant les facteurs de transfert du P et les facteurs de pression polluantes, dits facteurs sources. Les parcelles concernées sont les parcelles situées dans les surfaces contributives P ([Cf Module2](#)): ruissellement (SC-Ruiss), transferts de Sub-surface (SC-Subs), zones humides effectives.

Sources d'informations : [Fiche de relevés : « questionnaire d'enquête auprès de l'agriculteur »](#)

Méthode : Le risque P à la parcelle est constitué de deux composantes :

1ère composante : le facteur « TRANSFERT » = il évalue les facteurs qui vont déclencher le ruissellement et l'érosion à l'échelle de la parcelle = Evaluation du risque de transfert lié au milieu, soit la battance des sols, puis des facteurs aggravants le transfert de base selon les pratiques, soit la couverture végétale et la capacité d'infiltration des sols.

2ème composante : le facteur « SOURCE » = Evaluation du stock de phosphore dans le sol et des apports annuels de P (modalités d'incorporation et doses).

Le risque phosphore à la parcelle est calculé de la façon suivante :
« TRANSFERT » * « SOURCE »

1. 1ère composante : les facteurs « TRANSFERT »

Une distinction est réalisée entre les facteurs de transfert internes à la parcelle et les facteurs de transfert de la parcelle au cours d'eau. Ces derniers sont étudiés dans le module 2. Ils correspondent aux zones contributives au transfert de P vers les eaux de surface : les transferts liés au ruissellement et à l'érosion de versant (SC-Ruiss), sur les zones saturées (zones humides) et par sub-surface (nappe superficielle ou drains) (SC-Subs). Le phosphore dissous est transféré par ruissellement et par sub-surface ; il provient aussi des particules transportées. Le phosphore particulaire est transporté par des ruissellements érosifs chargés de particules. Dans le module 5, module phosphore, sont présentés les facteurs de transfert internes à la parcelle.

Le modèle d'aléa érosif MESALES (IFEN-INRA) intègre plusieurs paramètres de l'érosion (occupation du sol, battance, pente et climat).

Dans Territ'Eau, ces paramètres ont été pris en compte à une échelle plus fine que dans le modèle IFEN-INRA :

- occupation du sol : les rotations à la parcelle sont connues (données issues d'enquêtes auprès des agriculteurs). Le % de couverture du sol est calculé selon la succession culturale.
- pente : MNT au pas de 25 m utilisé dans le module 2 pour définir les surfaces contributives au ruissellement, - climat : En attente de l'amélioration des données (très peu de données exploitables), le critère climat n'est pas pris en compte dans Territ'Eau. - battance : pris en compte à l'échelle communale comme dans le modèle IFEN-INRA. La carte de battance des sols est conservée et déterminera le risque de transfert P lié au milieu à l'échelle de la parcelle. - Capacité d'infiltration des sols : non pris en compte dans le modèle MESALES. La diminution de la capacité d'infiltration des sols aggrave le risque transfert.

Etape 1 : Caractériser la sensibilité à la battance de la parcelle

Objectif : Les sols limoneux sont sujets à la formation à leur surface d'une pellicule peu perméable appelée croûte de battance. Elle apparaît lors de pluies intenses lorsque les gouttes de pluies martèlent la surface et font éclater les agrégats du sol. Elle empêche ensuite l'eau de s'infiltrer et augmente le risque de ruissellement.

Source d'informations : carte des classes de risque de battance de Bretagne au niveau communal obtenue par croisement de l'information texture et teneur en carbone organique de l'horizon de surface à consulter sur le site internet.

Méthode : Se positionner sur la carte pour connaître le risque de battance du bassin versant étudié.

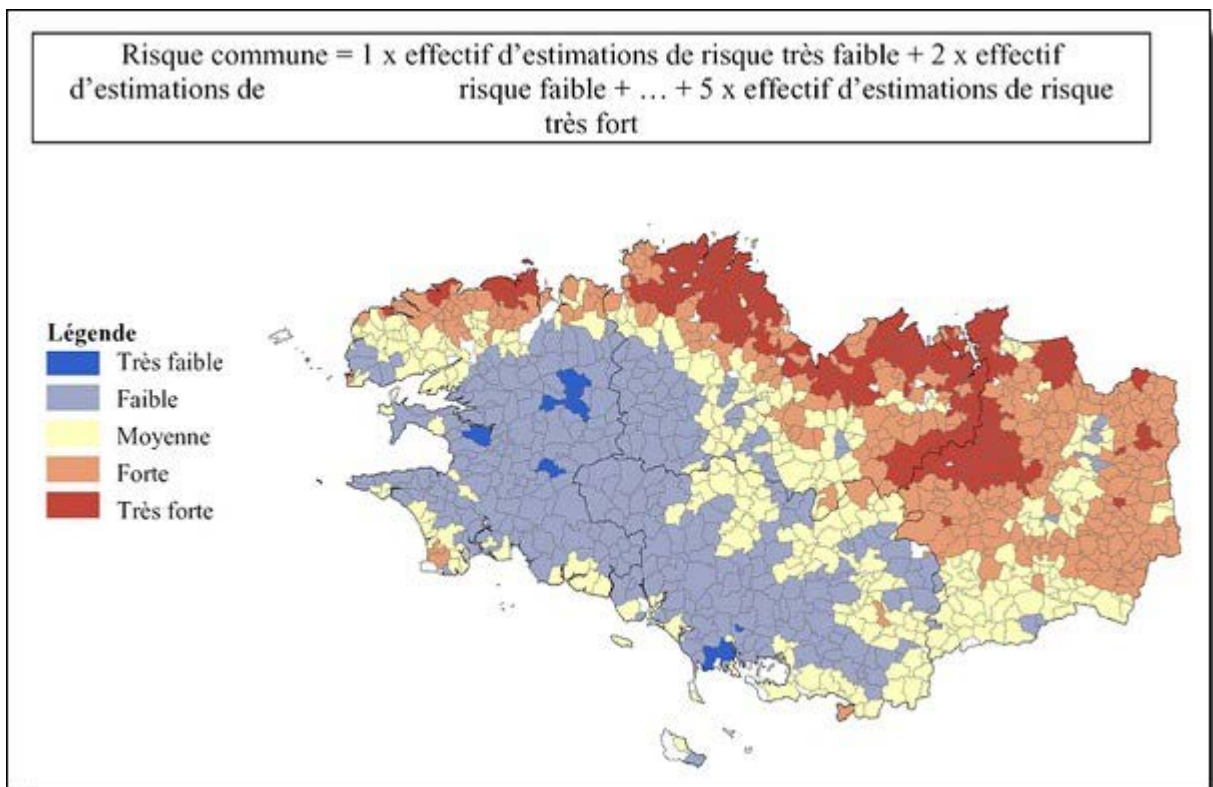


Figure 16 : Carte des classes de risque de battance de Bretagne au niveau communal par croisement de l'information texture et teneur en carbone organique de l'horizon de surface.
Source : A. Colmar et al, UMR SAS, 2006.

3 classes de risque battance sont conservées: faible (qui regroupe les classes faibles et très faibles), moyen et fort (qui regroupe les classes fort et très fort).

Pour connaître la sensibilité des sols à la formation d'une croûte de battance en dehors de la Bretagne, se reporter à la carte nationale ([annexe 1](#)).

Etape 2 : calculer le % de couverture végétale

Objectif : Evaluer le % de couverture du sol en moyenne sur la rotation. La présence d'un couvert végétal s'oppose de façon très efficace au ruissellement et à l'érosion, et à la formation d'une croûte de battance.

Source d'informations : [Fiche de relevés : « questionnaire d'enquête auprès de l'agriculteur »](#)

Méthode : le % de couverture du sol est calculé à l'échelle de la parcelle en moyenne sur la rotation.

La couverture végétale considérée correspond à la matière vivante mais aussi à la matière morte qui reste en surface du sol. Par exemple, après un maïs grain, les cannes broyées restent au sol et le protègent. La couverture végétale est calculée sur l'ensemble de l'année. En Bretagne, on considère que des épisodes pluvieux à risque ont lieu tout au long de l'année (pluies automnales et hivernales, pluies orageuses au printemps et en fin d'été).

% de couverture végétale annuel :

Pour les grandes cultures et les prairies

	Blé tendre d'hiver	Triticale ou mélange céréalière ou orge d'hiver	Colza d'hiver	Pois, féverolle, lupin	
				printemps	hiver
% couverture végétale	29	36	47	24	37
	Mais grain + cannes broyées (suivi d'une culture de printemps)	Mais grain + sol nu (suivi d'une culture d'hiver)	Mais ensilage	Chanvre	
% couverture végétale	54	25	22	32	
	Prairie, luzerne, trèfle		CIPAN		

	1 < sup> année d'implantation	en place	avant le 30 septembre	après le 30 septembre
% couverture végétale	66	100	27	12

Pour les légumes

	PDT plan	PDT conservation	PDT primeur	céleri branche
% couverture végétale	8	13	5	9
	chou fleur mai	chou fleur février	brocoli automne	brocoli été
% couverture végétale	35	28	9	7
	artichaut 3A	artichaut 2A	artichaut drageon	pois légume
% couverture végétale	36	57	27	14
	grosse carotte	jeune carotte	flageolet	haricot
% couverture végétale	30	7	13	8
	épinard de printemps			
% couverture végétale	8			

Source : **INDIGO revu pour la Bretagne par le pôle Agro-PV des chambres d'agriculture de Bretagne**

3 classes de % couverture végétale : > 61%, 31-60%, < 30%.

Exemple de calcul du % de couverture du sol pour une rotation prairie 4 ans – Maïs ensilage + cipan – Maïs ensilage – Blé

% couverture du sol moyen sur la rotation = (% couverture 1ère année d'implantation de la prairie + 3* % couverture prairie + % couverture Maïs ensilage + % couverture cipan après les 30 septembre + % couverture Maïs ensilage + % couverture Blé) / nombre d'années de la rotation

% couverture du sol moyen sur la rotation = (66 + 3*100 + 22 + 12 + 22 + 29)/7 = 64%.

Etape 3 : Caractériser la capacité d'infiltration du sol

Objectif : Estimer la capacité d'infiltration du sol en fonction du travail du sol et de l'effet des résidus, du tassement.

Source d'informations : [Fiche de relevés : « questionnaire d'enquête auprès de l'agriculteur »](#)

Méthode : La capacité d'infiltration du sol est évaluée en prenant en compte 2 paramètres :

- **le travail du sol** effectué sur la parcelle. L'affinement du sol conditionne la vitesse de colmatage du faciès du sol et l'occurrence de déclenchement du ruissellement. Les résidus de culture en surface font écran aux gouttes de pluies et empêchent la destruction de la structure du sol et son colmatage. Ils font aussi obstacle au ruissellement. Un sol sur lequel a été réalisé un semis direct (effet des résidus), ou encore un binage (effet écroûtage) est peu sensible au ruissellement. Au contraire, un sol affiné, tamisé ou irrigué est fortement sensible.

- **le tassement** lié aux passages de matériels lourds sur sol humide ou à un sur-pâturage. Plus le nombre de passages est important plus le risque de tassement augmente. Les pneus basse pression sont les moins favorables au tassement du sol. Le passage d'engins équipés de pneus basses pressions ne seront pas considérés comme impactant. Sur prairies, pour le pâturage hivernal ou une pression au pâturage élevée, au-delà de 800 UGB.JPP/ha/an, on peut observer du sur-piétinement.

Calculer le nombre de « pratiques » favorables, ou défavorables impactant la capacité d'infiltration du sol pour chaque culture selon la grille experte ci-dessous. Chaque itinéraire technique différent concernant le travail du sol, le nombre de passages d'engins lourds sur sol humide et la pression au pâturage est considéré.

Sol (pratiques agricoles)	Favorable	Défavorable
Infiltration/rugosité	<ul style="list-style-type: none"> Binage (bineuse, houe rotative) (1) Pas de travail du sol (prairie, semis direct ou travail minimum sur la ligne de semis avec couvert permanent ou résidus abondants (>30% de couverture de sol) (2) 	<ul style="list-style-type: none"> Affinement du lit de semences (légumes) Tamisage (pommes de terre) Irrigation (légumes)
Tassement	<ul style="list-style-type: none"> Semi avec effaceurs de traces de roues 	<ul style="list-style-type: none"> Passage d'engins lourds du 1^{er} oct - 30 mars (période hivernale) non équipés de pneus basse pression (<1 bar): <ul style="list-style-type: none"> épandage ensilage moissonneuse en maïs grain Sur pâturage : <ul style="list-style-type: none"> pâturage hivernal (du 15 novembre au 15 février) pression pâturage annuelle > 800 UGB.JPP/ha/an

(1) la herse étrille a un effet défavorable sur la capacité d'infiltration du sol

(2) le travail du sol pour l'implantation des inter-cultures n'est pas pris en compte

Calculer le nombre de « pratiques » favorables et défavorables à la capacité d'infiltration du sol à l'échelle de la parcelle, en moyenne sur la rotation.

3 classes de risque infiltrabilité :

- faible, si le nombre de pratiques favorables moins le nombre de pratiques défavorables est supérieur ou égal à 1
- moyen, si le nombre de pratiques favorables moins le nombre de pratiques défavorables est compris entre]-1 ; 1[
- fort, si le nombre de pratiques favorables moins le nombre de pratiques défavorables est inférieur ou égal à -1

Exemple : rotation prairie 4 ans – Maïs ensilage + cipan – Maïs ensilage – Blé avec les itinéraires techniques suivants :

Maïs - implantation du maïs avec labour, épandage de fumier avant maïs en mars.

Blé - implantation du blé en semis direct, pas d'épandages en sortie d'hiver.

Prairie - pression au pâturage de 400 UGB.JPP/ha/an, épandage de lisier de porc en sortie d'hiver.

Calcul du nombre de « pratiques » favorables et défavorables concernant la capacité d'infiltration du sol pour chaque culture, puis en moyenne sur la rotation.

Pour la culture de maïs avec l'itinéraire technique proposé, sont dénombrées 2 pratiques défavorables (épandage de fumier et ensilage pendant la période d'octobre à mars), et aucune pratique favorable à la capacité d'infiltration du sol. La différence est égale à « -2 » pratiques favorables.

Pour la culture de blé avec l'itinéraire technique proposé, sont dénombrées 1 pratique favorable (semis direct) et aucune pratique défavorable à la capacité d'infiltration du sol. La différence est égale à « +1 » pratique favorable.

Pour la prairie avec l'itinéraire technique proposé, sont dénombrées 1 pratique défavorable (épandage de lisier en sortie hiver) et aucune pratiques favorables à la capacité d'infiltration du sol. La différence est égale à « -1 » pratique favorable.

A l'échelle de la parcelle, en moyenne sur la rotation, la différence entre le nombre de pratiques favorables et défavorables à la capacité d'infiltration du sol est égale à $(-2+1-1) = -2$. Le risque infiltrabilité pour la rotation est fort.

Etape 4 : Combinaison des paramètres du facteur « TRANSFERT »

Le croisement de ces 3 paramètres définit 3 classes. Elles traduisent la sensibilité au « TRANSFERT » à l'échelle de la parcelle. Cette sensibilité « TRANSFERT » sera ensuite croisée avec le facteur « SOURCE ».

Pour chaque rotation, évaluer la sensibilité au « TRANSFERT » selon le tableau suivant :

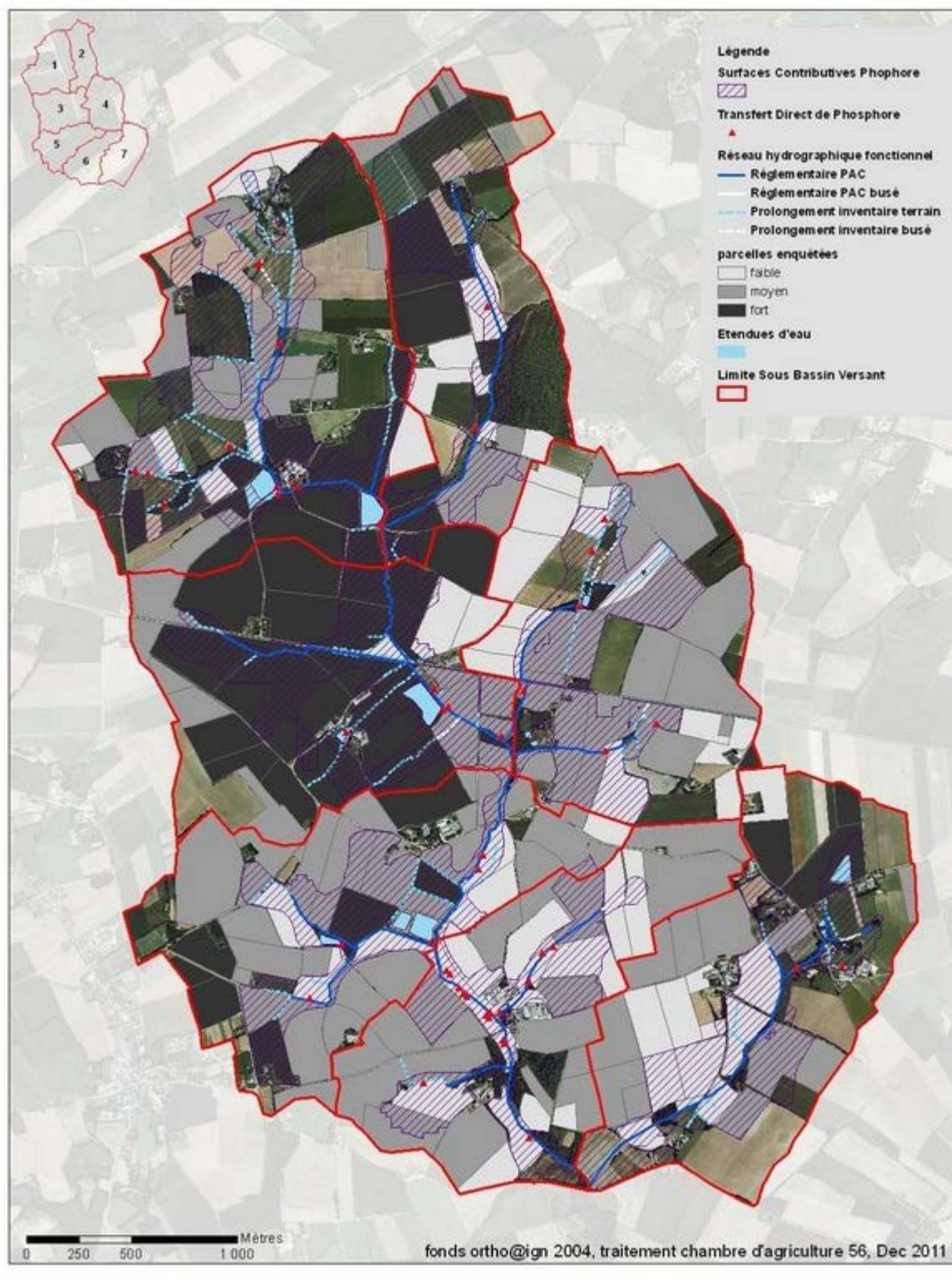
Risque TRANSFERT		Sol (milieu) - Sensibilité à la battance		
% couverture végétale	Sol (pratique agricole) infiltration/tassement	faible	moyen	fort
>60 %	>=1 pratique favorable			
] -1; 1[pratique favorable			
	<= -1 pratique favorable			
	>=1 pratique favorable			

]30-60] %] -1; 1[pratique favorable			
	<= -1 pratique favorable			
<=30%	>=1 pratique favorable			
] -1; 1[pratique favorable			
	<= -1 pratique favorable			

Lorsque le % de couverture du sol est > 60%, alors le risque qu'une croûte de battance se forme est moindre. Le sol est protégé de l'impact des gouttes de pluies responsable de la battance. Le risque TRANSFERT est faible quelque soit le niveau de sensibilité à la battance.

Restitution d'une carte de risque TRANSFERT à l'échelle de l'exploitation agricole. Un code couleur est appliqué sur chaque parcelle en fonction du risque qui lui correspond : camaïeu de gris pour le risque transfert. Les surfaces contributives / PHOSPHORE de l'exploitation sont symbolisées sur la carte.

Cette carte représente un document de travail avec l'agriculteur.



2. 2ème composante : les facteurs « SOURCE » de Phosphore

Deux facteurs SOURCE sont considérés : le stock de P dans le sol, les apports annuels phosphatés et leur méthode d'incorporation. Le stock de phosphore dans le sol peut générer un flux de phosphore par échange entre l'eau et le sol, entre l'eau et les particules de sol transportées. Ce flux est lié au transfert, donc au climat. Les apports annuels phosphatés peuvent générer des flux de phosphore qui ont lieu sur une période plus courte à partir de l'apport.

2.1 Stock de phosphore dans le sol

Objectif : Evaluer le stock de phosphore dans le sol qui est potentiellement transférable au cours d'eau.

Source d'informations : [Fiche de relevés : « questionnaire d'enquête auprès de l'agriculteur »](#)

Méthode :

Pour le diagnostic d'un bassin versant, il faut privilégier l'analyse des sols, qui renseigne directement et à la parcelle sur le stock de P des sols (option 1). A défaut, une approche par bilan est possible, mais ne rendra pas compte de la variabilité des sols au sein de l'exploitation (option 2). Le mixte des deux méthodes ne permet pas une comparaison entre exploitations cohérente basée sur des critères homogènes.

Option 1 : les agriculteurs disposent de résultats d'analyses de sol, ou le commanditaire finance une campagne d'analyse de sols : évaluation du stock de P dans le sol à partir des teneurs en phosphore des sols.

Quand la teneur en P Dyer augmente, le risque de mobilisation de P soluble par érosion, ruissellement ou drainage augmente. Pour chaque parcelle de l'exploitation, positionner la parcelle dans un niveau de teneur en P2O5 du sol.

Pour chaque parcelle de l'exploitation, positionner la parcelle dans une des 3 classes de teneur en P2O5 du sol (P Dyer) : < 450 ; 450-600 ; > 600.

Correspondance des classes de teneur en P selon différentes méthodes de mesure

Classe de teneur en P Dyer	< 450	450-600	> 600
Classe de teneur en P Olsen	< 140	140-175	> 175
Classe de teneur en P Joret-Hebert	< 275	275-350	> 350

S'il n'y a pas d'analyses de sol pour chaque parcelle, attribuer la même valeur d'analyse aux parcelles étant dans le même système de culture : rotation et pratiques de fertilisation identiques.

Détermination des seuils de risque lié au stock de phosphore des sols :

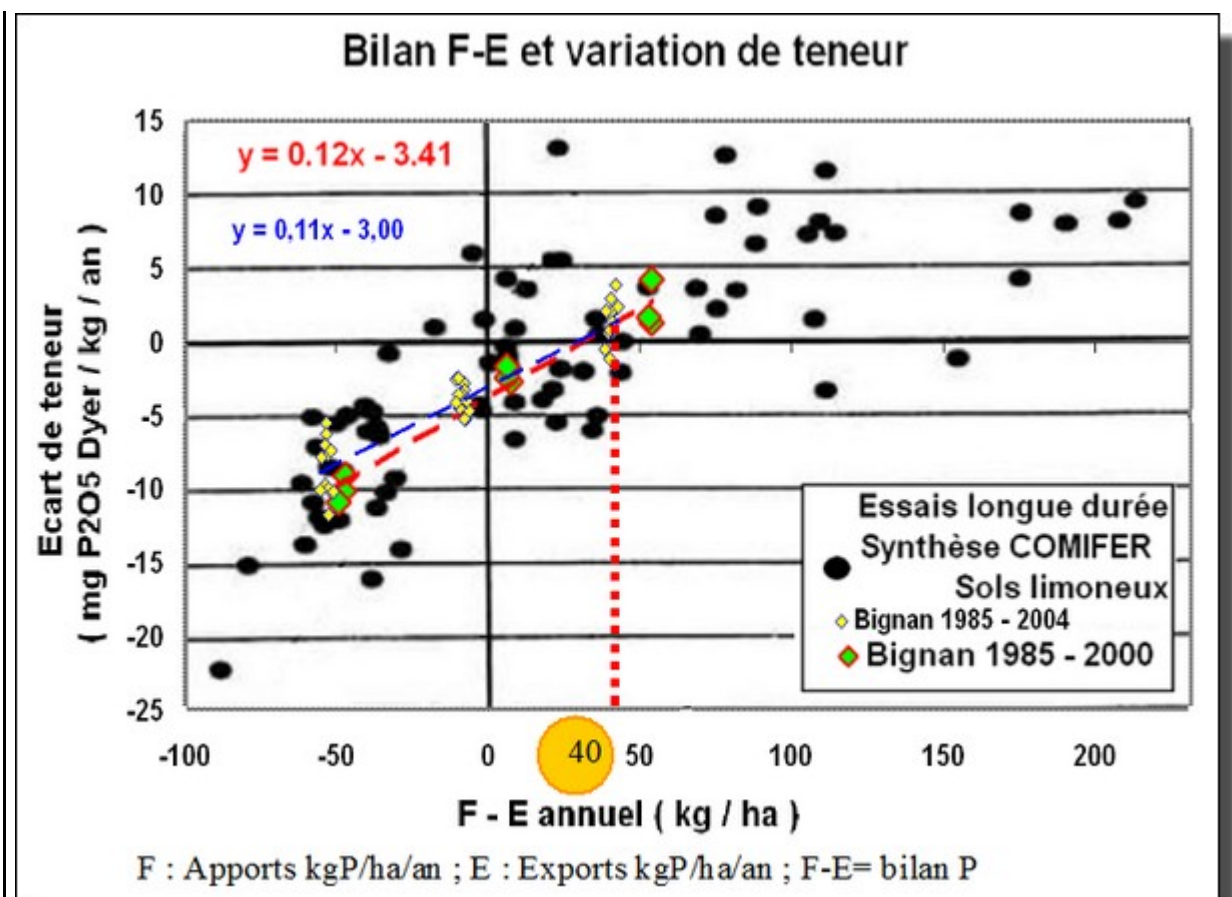
Une étude franco-qubécoise qui vise à déterminer les seuils agro-environnementaux des sols bretons, à partir des techniques établies au Québec, montre que le seuil environnemental pour les sols de Bretagne est autour de 450 mg/kg de P Dyer (Sarr et al., 2007). Il s'agit d'un seuil qui définit un risque pour le transfert de P dissous. Des apports de phosphore pour les cultures peuvent continuer à être réalisés sur ces parcelles mais de façon ajustée aux besoins des plantes pour ne pas enrichir plus encore le sol. Des travaux supplémentaires sont en cours à l'échelle nationale pour confirmer et généraliser les résultats de l'étude franco-qubécoise

Option 2 : les agriculteurs ou les acteurs du territoire ne disposent pas de résultats d'analyses de sol : évaluation de la dynamique d'enrichissement du sol en phosphore.

La 1^{ère} préconisation pour l'agriculteur sera de réaliser des analyses de sol.

Un seuil d'apports de P (en moyenne sur l'exploitation/ha/an depuis plus de 5 ans) au delà duquel le sol s'enrichit en phosphore est défini. Cet indicateur traduit plus la dynamique d'enrichissement du sol que le stock. Le seuil de 85 kgP total /ha/an apporté en moyenne sur l'exploitation (depuis au moins 5 ans) est retenu en Bretagne.

Détermination du seuil de 85 kgP/ha/an :



Des essais longues durées sur la station expérimentale de Bignan et sur d'autres sites français ont permis de mesurer l'écart de teneur en P₂O₅ des sols pour différents niveaux d'apports de P pendant 15 à 20 ans. Les résultats permettent de fixer à 40 kgP/ha/an, le bilan moyen inter annuel au delà duquel on enrichit le sol. En Bretagne, les exports moyens en P sont assez homogènes selon les cultures. Ils sont de l'ordre de 45-55 kgP/ha/an. Les apports moyens inter annuel au delà desquels on enrichit le sol sont de 85 kgP/ha/an.

Calculer les quantités de phosphore total (organique maîtrisable et non maîtrisable et minéral) apportées par ha SAU et par an en moyenne sur l'exploitation depuis plus de 5 ans.

Positionner l'exploitation dans une des 3 classes d'apports moyens de phosphore sur l'exploitation depuis plus de 5 ans (kg P total/ha/an): < 85, 85-100 ; > 100.

Cas particuliers applicables aux options 1 et 2: Les prairies permanentes qui reçoivent peu d'intrants pourront être classées dans un niveau faible de stock de P dans les sols. Les parcelles de cultures qui reçoivent uniquement des apports de fertilisants sous forme minéral pourront être classées dans un niveau faible de stock de P dans les sols. Ceci quelles que soit les quantités de P apportées/ha/an en moyenne sur l'exploitation.

2.2 Les apports de phosphore

Objectif : Evaluer les risques P à partir des apports annuels de phosphore sur la parcelle. Ils dépendent en majorité des modalités d'incorporation et dans une moindre mesure de la dose de P éendue. Le délai d'incorporation du phosphore éandu fait que plus le délai augmente, plus le risque d'avoir une pluie ruisselante augmente. La méthode d'incorporation fait que plus le degré d'incorporation du P au sol est élevé plus il s'insolubilise en s'associant aux constituants du sol.

Source d'informations : [Fiche de relevés : « questionnaire d'enquête auprès de l'agriculteur »](#)

Méthode :

Etape1 : Pour chaque apport de P, calculer le niveau de risque de la manière suivante :

Pour les épandages :

Les modalités d'incorporation sont classées en 3 catégories : Enfouissement immédiat (labour dans la semaine qui suit l'apport ou matériel spécifique (injection directe) ou engrais localisé), incorporation superficielle dans la journée sans labour dans la semaine qui suit l'apport, apport en surface sans reprise par un labour.

- Si le labour est immédiat après l'apport de phosphore ou l'engrais localisé, le risque apport de P est faible quelque soit la dose apportée. Le phosphore enfoui, même à forte dose, est alors peu mobilisable par ruissellement ou érosion.
- Si l'apport de P est réalisé en surface sans reprise par un labour, le risque apport de P est fort quelque soit la dose apportée. Même pour de faibles doses de phosphore apportées en surface, le flux de P transféré est élevé.
- Si l'apport de P est incorporé superficiellement au sol, alors le risque apport de P dépend de la dose apportée. Plus le volume apporté est important, moins l'incorporation sera efficace. Le phosphore peut rester pour partie en surface.

Pour chaque apport de P par épandage, calculer le niveau de risque de la manière suivante :

Risque apports de P lié aux épandages		Dose (kg P2O5/ha) pour chaque apport		
		50	50-100	>100
Modalités d'incorporation	labour immédiat ou localisé			
	Incorporation superficielle			
	Surface			

Remarque : Sur une culture donnée, plusieurs épandages peuvent être réalisés. Deux risques apport de P, pour chacun des épandages, sont calculés pour la culture.

Pour les apports au pâturage : Le risque apports de P lié au pâturage est pris en compte au travers de l'indicateur UGB.JPP/ha/an (voir la méthode de calcul dans le [module 4 azote](#)). Il croise les fréquences des cycles de pâturage et la durée de pâturage dans l'année.

3 classes pour la pression au pâturage (UGB.JPP/ha/an) : < 450, 450-800, > 800.

Etape2 : calculer le nombre d'apports à risque faible, moyen et fort en moyenne sur la rotation et calculer l'indicateur « apports de P moyen sur la rotation » de la manière suivante :

Apports de P moyen sur la rotation = $(0,3 \times \text{nombre d'apports de P à risque faible} + 0,6 \times \text{nombre d'apports de P à risque moyen} + 1 \times \text{nombre d'apports de P à risque fort}) / \text{nombre d'années de la rotation}$

Avec les coefficients suivants : Pas d'apport – coeff=0 ; 1 apport à risque faible – coeff=0,3 ; 1 apport à risque moyen – coeff =0,6 ; 1 apport à risque fort – coeff =1

Evaluer la classe de risque pour l'indicateur apports de P de la manière suivante :

Risque apports de P (rotation)	<0,4	[0,4-0,8[>=0,8
		1 (faible)	2 (moyen)

Exemple : calcul de l'indicateur apports de P (kg P2O5/ha/an) pour une rotation prairie de 4 ans (500 UGB.JPP/ha/an) / Maïs / Blé

- Fertilisation phosphatée sur maïs :
 - un apport de 100 kg 18-46 en localisé – le risque apport de P est faible.
 - un apport de 30t/ha de fumier de vaches laitières (2,5 uP2O5/t) en février avant maïs incorporé superficiellement – le risque apport de P est moyen.

- Apports de phosphore au pâturage : Pour une pression au pâturage de 500 UGB.JPP/ha/an – le risque apport de P est moyen.

En moyenne sur la rotation (6 années),

L'indicateur apports de P = $(0,6 \times 4 + 1 \times 0,3 + 1 \times 0,6) / 6 = 0,55$. Soit un niveau de risque apports moyens sur la rotation MOYEN.

2.3. Croisement des 2 paramètres du facteur « SOURCE »

Les deux paramètres stock de P dans le sol et apports annuels de P sont additionnés pour constituer le facteur SOURCE.

Option 1 :

SOURCE DE P	Risque stock de P dans le sol (P Dyer)		
	<450	450-600	>600

Risque apports annuels de phosphore	1 (faible)			
	2 (moyen)			
	3 (foort)			

Option 2 :

SOURCE DE P		Risque enrichissement en P du sol (kg P2O5/ha/an)		
		<85	85-100	>100
Risque apports annuels de phosphore	1 (faible)			
	2 (moyen)			
	3 (foort)			

- Si le risque apports annuels de P est fort, alors le risque SOURCE est fort quel que soit le stock de P dans le sol (option 1) ou le degré d'enrichissement du sol (option 2)
- Si le risque apports annuels de P est faible ou moyen, le risque SOURCE est proportionnel au risque stock de P dans le sol (option 1) ou enrichissement en P (option 2).

Restitution d'une carte de risque SOURCE à l'échelle de l'exploitation agricole. Un code couleur est appliqué sur chaque parcelle en fonction du risque qui lui correspond : camaïeu de vert pour le risque source. Les surfaces contributives / PHOSPHORE de l'exploitation sont symbolisées sur la carte.

Cette carte représente un document de travail avec l'agriculteur.



Le risque source de Phosphore à l'échelle parcellaire

