

*Note technique
sur les processus physico-chimiques
et biologiques de dégradation des produits
de viabilité hivernale*



Ressources, territoires et habitats
Énergie et climat
Prévention des risques
Développement durable
Infrastructures et transports

**Présent
pour
l'avenir**



Note technique sur les processus physico-chimiques et biologiques de dégradation des produits de viabilité hivernale

En période hivernale, le risque de pollution organique des eaux pluviales occasionné par les produits chimiques de dégivrage des avions et de déverglacement des aires de trafic et de manœuvre fait l'objet d'une attention particulière sur un grand nombre d'aéroports. Une des questions clefs de la gestion de ces eaux concerne la maîtrise de la charge organique avant rejet dans le milieu aquatique et tout particulièrement la connaissance des paramètres physico-chimiques et biologiques optimisant sa dégradation. Dans ce cadre, le Service Technique de l'Aviation Civile (STAC) a initié en 2000 avec l'appui du Centre d'Enseignement et de Recherche Eau Ville et Environnement (CEREVE) une étude sur l'optimisation des processus de biodégradation des produits utilisés en viabilité hivernale. Ce travail a été prolongé en 2006 avec l'appui technique et financier des aéroports de Bâle-Mulhouse et de Strasbourg et le concours du Laboratoire Régional des ponts et chaussées de l'Ouest Parisien (LROP). Il s'inscrit par ailleurs dans le prolongement de plusieurs expériences internationales ayant démontré la biodégradabilité de ces substances.

Cette note technique présente les résultats des dernières expériences menées au niveau national sur le sujet.

1. Introduction

Les opérations de viabilité hivernale répondent à des objectifs de maintien d'un haut niveau de service aéroportuaire et de sécurité aérienne compatibles avec les exigences de trafic aérien. Elles requièrent la mise à disposition de moyens techniques et humains efficaces et l'utilisation de produits chimiques destinés au dégivrage/antigivrage des avions, et au déverglacement des pistes, taxiways, et aires de stationnement.

Les opérations d'antigivrage et de dégivrage permettent d'assurer le bon déroulement des opérations de roulage au sol et de décollage, en limitant la formation de dépôts contaminants à la surface de l'avion. Les produits utilisés en France sur les aérodromes civils sont principalement composés de glycols et se présentent sous différentes formes plus ou moins épaissies (STAC, 2007).

Les opérations de déverglacement permettent quant à elles d'assurer le maintien de l'activité aéroportuaire en garantissant un coefficient de frottement de la piste conforme aux recommandations émises par l'OACI¹. Les produits de déverglacement utilisés en France sont principalement composés d'acétates de potassium ou de sodium et à moindre mesure de formiates de potassium ou de sodium. L'utilisation de fondants chimiques est généralement associée à des interventions mécaniques de déneigement (STAC, 2007).

Compte tenu de l'importance des volumes de produit pouvant être utilisés lors d'occurrences hivernales, la gestion de ces effluents aéroportuaires et leur devenir dans l'environnement constituent de véritables enjeux auxquels les aéroports peuvent être confrontés.

En raison de leur charge organique (tableau 1), les fondants chimiques vont consommer l'oxygène présent dans le milieu pénalisant ainsi la vie aquatique et entraînant un phénomène de désoxygénation et d'asphyxie des écosystèmes aquatiques. Les produits utilisés en viabilité hivernale présentent une solubilité importante et sont donc très mobiles en milieu aqueux. Ils sont par ailleurs très réactifs et présentent une faible rémanence dans l'environnement.

La toxicité des substances responsables des principes actifs est relativement faible. Toutefois, la formulation chimique des produits commercialisés contient des additifs (inhibiteurs de corrosion et retardateurs de flammes, agents mouillants, solutions tampon, colorants...), certains pouvant se révéler plus toxiques que la substance active elle-même. Il semble que d'un point de vue environnemental les deux groupes d'additifs à considérer sont les triazoles et les alkyl-phénols éthoxylates. Les nonylphénols et leurs éthoxylates (un des groupes constitutif des alkyl-phénols avec les octylphénols) font ainsi partie des substances classées prioritaires et dangereuses pour les milieux aquatiques en application de la Directive Cadre sur l'Eau (DCE)².

En période hivernale, la dégradabilité des produits est effective aussi bien en milieu aquatique qu'au niveau du sol mais selon une cinétique très lente en raison de conditions environnementales défavorables. Cela peut alors soulever un certain nombre d'interrogations quant aux modalités de stockage et de traitement des effluents aéroportuaires avant leur rejet dans les milieux naturels. Globalement, le taux et la cinétique de biodégradation dépendent de la présence de biomasse bactérienne, de la température et de la concentration en oxygène même si la dégradation est également effective en milieu anaérobie.

¹ OACI : Organisation de l'Aviation Civile Internationale

² décision 2455/2001 du 16 décembre 2001 prise en application de la Directive 2000/60/CE du Parlement européen et du Conseil du 23 octobre 2000 établissant un cadre pour une politique communautaire dans le domaine de l'eau.

Tableau 1 : Données fabricants des différents produits utilisés en viabilité hivernale sur les aéroports de Strasbourg et de Bâle-Mulhouse

	Dégivrants / antigivrants			Déverglaçants		
	Kilfrost DFPlus Type I	Kilfrost ABC-S Type IV	Ecowing 26 Type II	Clearway 6S	Clearway 1	Clariant Safeway
Strasbourg	X	X	X			X
Mulhouse	X	X	X	X	X	

Substance active	monopropylène glycol (>80%)	monopropylène glycol (>50%)	monopropylène	acétate de sodium	acétate de potassium	acétate de potassium
Apparence	solution aqueuse	solution aqueuse	solution aqueuse	solide	solution aqueuse	solution aqueuse
Additifs	inhibiteurs de corrosion, retardateurs de flamme	-	sans triazoles	-	inhibiteurs de corrosion	inhibiteurs de corrosion
pH	9 (20°C)	7 (20°C)	7 (20°C)	8 à 11 ¹	10,5 à 11,5	9 à 11,5
DBO5*	0,59	0,418	0,444	0,320	0,210	0,300
DCO*	1,39	0,835	0,756	0,560	0,330	0,330
DCO/DBO	2,4	2	1,7	1,7	1,6	1,1
Biodégradation	Complète en 48h	-	59 % à 5 jours	Facile	Facile	> 90% __
Traces	P, S	-	-	-	-	-

¹dilution 10%

_ méthode DIN 38412 T24

* en kg/L ou kg/kg de produit brut

2. Tests d'optimisation des processus de dégradation des fondants chimiques

L'étude mise en œuvre en 2006 consiste à déterminer expérimentalement le rôle de différents paramètres (température, oxygénation, biomasse, nutriments) sur la cinétique de dégradation des effluents aéroportuaires. Cette démarche s'inscrit dans la continuité d'une première étude menée en 2001 par Fournier en laboratoire sur des produits purs (acétate, éthylène glycol et propylène glycol) ; l'utilisation de produits purs permettant notamment de s'affranchir du rôle joué par les additifs des préparations commerciales.

L'intérêt de cette nouvelle expérimentation repose sur l'utilisation d'effluents réels prélevés au cours de l'hiver 2006/2007 sur les aéroports de Bâle-Mulhouse et de Strasbourg-Entzheim.

Précisons que l'étude mise en œuvre sur ces deux aéroports n'a pas vocation à étudier le fonctionnement des ouvrages de récupération et de traitement des eaux pluviales ni à définir la performance des installations en terme de rejets dans les milieux naturels ; ces derniers étant par ailleurs définis par les arrêtés préfectoraux pris en application de la loi sur l'eau et les milieux aquatiques.

2.1. Protocole de prélèvement

Un point d'échantillonnage a été retenu par site d'étude. Sur l'aéroport de Bâle-Mulhouse, le point d'échantillonnage est situé en aval du système d'assainissement avant infiltration des eaux. Il recueille les eaux pluviales issues du parking avions après prétraitement dans un filtre planté. Sur l'aéroport de Strasbourg-Entzheim, ce point est situé à l'aval du réseau d'assainissement, au niveau du bassin de stockage final où cheminent l'ensemble des eaux de ruissellement de l'aéroport.

L'objectif de la phase de prélèvement est d'obtenir un échantillon moyen représentatif du rejet d'eau pluviale au milieu, suite à l'application des produits de dégivrage et/ou de déverglaçage.

Deux événements climatiques donnant lieu à des opérations de dégivrage et/ou de déverglaçage ont pu être échantillonnés sur Bâle-Mulhouse et un seul sur Strasbourg-Entzheim au cours de l'hiver 2006-2007.

Les prélèvements hivernaux ont été réalisés au moyen d'un préleveur automatique multi-flacons (24 x 1 L) asservi à la mesure de débit, puis sur une base temporelle permettant de couvrir l'événement pluvieux. L'échantillon moyen a ensuite été reconstitué à partir des flacons au prorata du débit écoulé au cours de la phase de prélèvement.

2.2. Caractérisation des échantillons

Ces échantillons reconstitués ont fait l'objet d'analyses physico-chimiques, bactériologiques et écotoxicologiques (tableau 2). Les analyses physico-chimiques complètes, incluant les additifs et les tests écotoxicologiques ont été uniquement réalisés sur les échantillons prélevés à Bâle-Mulhouse.

Ces prélèvements hivernaux ont été complétés sur chacun des aéroports :

- par une analyse préalable des caractéristiques physico-chimiques des eaux pluviales en dehors des périodes d'utilisation des fondants, ce qui permet d'obtenir un point de référence.,
- par une analyse physico-chimique des fondants chimiques utilisés par chaque aéroport soit d'une part pour les dégivrants/antigivrants, le Kilfrost DFPlus (Type I), le Kilfrost ABC-S (Type IV), et l'Ecowing 26 (Type II) et d'autre part pour les déverglaçants, le Clearway 6S (acétate de sodium), le Clearway 1 et le Safeway KA (acétate de potassium).

2.3 Protocole expérimental

Cette note technique synthétise les résultats de dégradation des produits sous différentes conditions : concentration de biomasse, température et apport d'éléments nutritifs. Alors que Fournier avait utilisé une biomasse indigène acclimatée prélevée sur site, la présente étude est basée sur l'utilisation d'une culture libre qui permet de caractériser la biodégradabilité des échantillons selon l'esprit de la norme internationale NF EN ISO 9888 « Qualité de l'eau - Évaluation, en milieu aqueux, de la biodégradabilité aérobie ultime des composés organiques - Essai statique (méthode Zahn-Wellens) ».

Les tests ont été réalisés dans des réacteurs thermostatés en verre de 2 litres à l'intérieur desquels ont été introduits les échantillons. Sur ces derniers, différents paramètres ont été testés afin d'appréhender leur influence sur le processus de dégradation :

- la température. Des expériences ont été réalisées à 20°C, 10°C et 5°C,
- la biomasse. En condition de référence, la quantité de biomasse ajoutée est réalisée de façon à ce que le rapport des concentrations en carbone organique dissous (COD) de l'échantillon et en matière sèche (MS, représentant la biomasse) soit constant et de 0,07. D'autres expériences ont été réalisées en l'absence de biomasse, avec une biomasse divisée par 2 et une biomasse multipliée par 2,
- l'oxygénation. En condition de référence les réacteurs sont équipés de diffuseurs d'air afin de garantir une oxygénation suffisante lors de l'essai. Un essai a été réalisé sans oxygénation,
- les éléments nutritifs. Les conditions de référence correspondent à un apport optimal d'azote et de phosphore afin de respecter le rapport massique DBO₅/N/P de 100/5/1. Ces éléments ont été apportés sous la forme de chlorure d'ammonium (NH₄Cl) et de dihydrogène-orthophosphate de potassium (KH₂PO₄). Il faut cependant noter que les boues activées utilisées contiennent des éléments nutritifs plus ou moins facilement assimilables. Une analyse des boues utilisées dans les tests a en effet permis de mesurer une concentration en *azote Kjeldahl* supérieure à 4% du poids sec. D'autres essais ont été réalisés sans ajouts d'éléments nutritifs.

37 essais de biodégradation ont ainsi été réalisés dans le cadre de cette étude sur les effluents aéroportuaires.

La dégradation de la charge organique a été caractérisée en suivant l'évolution 3 fois par jour de la concentration en carbone organique dissous (COD)³. Cette analyse présente un double intérêt : celui d'être très rapide et celui de consommer peu d'échantillons (environ 2 ml). La durée des essais varie de 2,5 à 7 jours ; l'objectif général étant l'atteinte d'un pourcentage de dégradation de 90%. En fin de test, un échantillon d'eau est analysé pour la caractérisation de la biomasse (totale aérobie et *Pseudomonas sp.*), de la DBO₅, de la DCO, des matières en suspension (MES), des matières volatiles en suspension (MVS), des glycols et acétates.

2.4 Résultats et discussion

2.4.1 Caractérisation des effluents

La charge organique, de l'ordre de 750 mg/l de DCO, est constituée de substances différentes pour les deux plateformes. Les analyses réalisées sur les effluents prélevés caractérisent un mélange dégivrant/déverglaçant pour Strasbourg-Entzheim et uniquement de dégivrant à Bâle-Mulhouse. Dans les deux cas le rapport DCO/DBO₅ des effluents compris entre 1,4 et 1,6 traduit leur bonne biodégradabilité. Contrairement à celui prélevé à Strasbourg-Entzheim, la charge organique de l'effluent prélevé à Bâle-Mulhouse semble avoir subi une transformation dans le système d'assainissement occasionnant une transformation des substances actives des dégivrants en métabolites⁴.

³ Chaque prélèvement est complété par une analyse du pH, de la conductivité et de la concentration en oxygène dissous. Le suivi de la concentration en oxygène dissous permet de vérifier que l'essai se déroule en conditions aérobies

⁴ : Produits intermédiaires formés au cours d'une réaction cellulaire (synthèse ou dégradation)

Tableau 2 : Caractérisation des effluents prélevés sur les deux plates-formes en aval du réseau d'assainissement.

Paramètre	Bâle-Mulhouse		Strasbourg-Entzheim	Unité
	EM1 24/01/2007	EM2 20/03/2007	S1 09/02/2007	
Cadmium	< 20	0,12	<20	µg/L
Cuivre	< 50	8	<50	µg/L
Plomb	< 300	1,2	<300	µg/L
Zinc	0,08	0,067	0,23	mg/L
Hydrocarbures totaux	< 0,5	1,15	0,91	mg/L
Chlorures	6,37	4,98	24,5	mg/L
Conductivité à 25°C	362	441	1917	µS/cm
DBO₅	550	460	555	mg O ₂ /L
DCO	778	649	878	mg/L
DCO/DBO₅	1,4	1,4	1,6	-
COT	265	155	315	mg/L
MES	5	7	n.a.	mg/L
NH ₄	<0,05	0,19	n.a.	mg NH ₄ /L
NK	<1	1,18	1,39	mg/L
NO ₃	3,19	3,28	4,05	mg NO ₃ /L
P total	< 0,05	0,16	1,05	mg/L
pH	6,90 à 18,6°C	6,80 à 19,6°C	6,80 à 18,8°C	unité pH
PO ₄	0,16	< 0,15	1,98	mg PO ₄ /L
détergents anioniques	0,12	0,09	0,38	mg/L
Sulfates	8,17	1,94	n.a.	mg/L
détergents non ioniques	0,4	1,1	n.a.	mg/L
Acétate	< 1	≤1	854	mg/L
Formiate	24	38,5	n.a.	mg/L
Benzoate	< 1	≤1	n.a.	mg/L
Benzotriazoles	< 5	7	n.a.	µg/L
Tolytriazoles	< 5	<5	n.a.	µg/L
Tris(2-chloroéthyl)phosphate	1,3	≤1	n.a.	µg/L
Tributylphosphate	≤ 1	130	n.a.	µg/L
propyléneglycol	< 5	<1	35	mg/L
Nonylphénol éthoxylate	< 0,1	<0,1	n.a.	µg/L
Octylphénol éthoxylate	< 0,1	<0,1	n.a.	µg/L
Nonylphénol	3,1	5,9	n.a.	µg/L
2-Méthylphénol	0,1	Traces	n.a.	µg/L
3-Méthylphénol	10	Traces	n.a.	µg/L
4-Méthylphénol	2,6	0,62	n.a.	µg/L
Phénol	16	4,6	n.a.	µg/L
Biomasse				
Bactéries aérobies (36°C)	28 000	350 000	200 000	UFC/mL
pseudomonas totaux	2 300 000	840 000	1 350 000	UFC/100 mL
pseudomonas aeruginosa	présence d'interfèrents	0	0	UFC/100 mL
Test Microtox de toxicité photobactérium				
photobactérium equitox	<1,0	<1,0	n.a.	
Test de toxicité préliminaire daphnie 24H				
daphnia magna	non toxique	non toxique	n.a.	

≤ indique la présence de la substance mais sans qu'elle puisse être quantifiée. n.a =non analysé

Echantillon S1 (Strasbourg) = eaux de ruissellement brutes

Echantillons EM1 et EM2 (Bâle-Mulhouse) = eaux de ruissellement prétraitées

Des additifs (détergents, benzotriazoles, esters de phosphate...), des dérivés d'additifs (nonyphénols) et d'autres produits phénolés sont présents à Bâle-Mulhouse. Les deux effluents prélevés à Bâle-Mulhouse sont considérés comme non toxiques vis-à-vis de tests effectués.

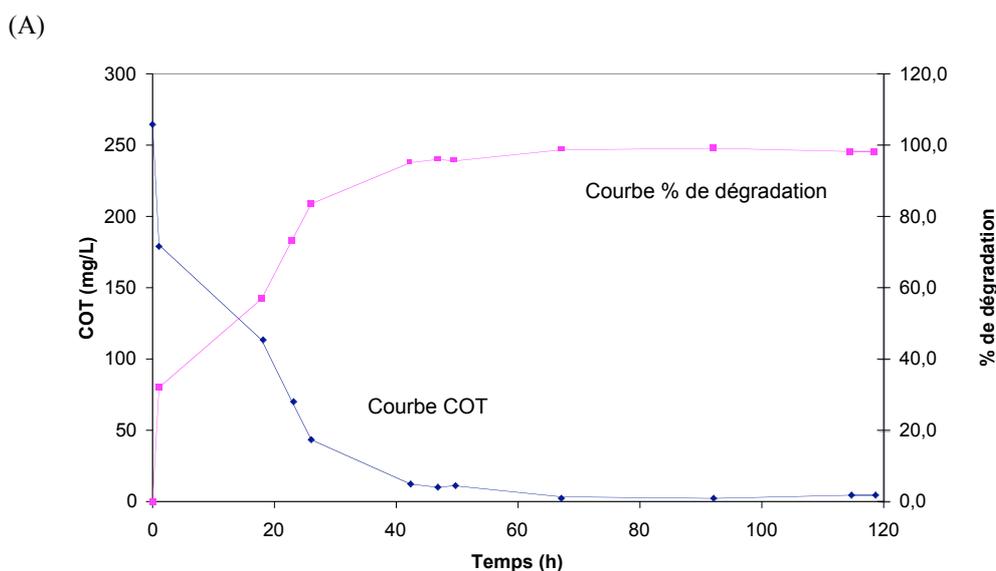
2.4.2 Tests d'optimisation de la dégradabilité

La courbe de dégradation

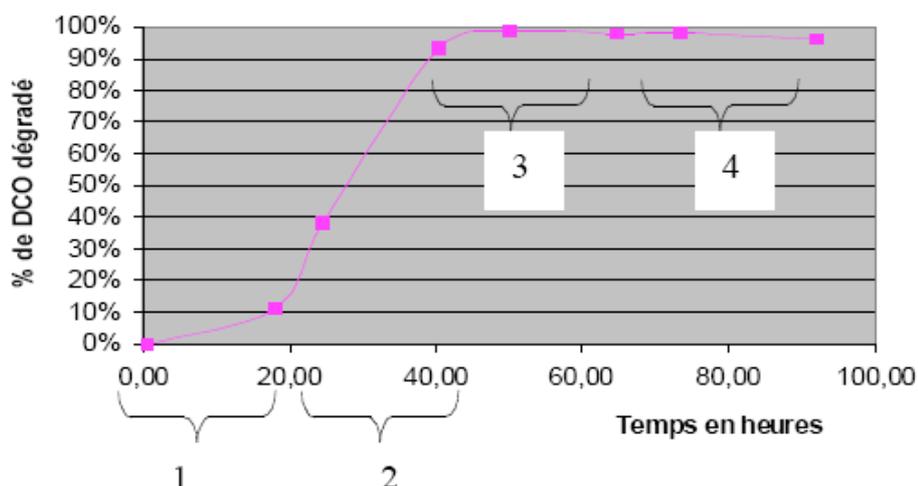
La courbe de dégradation de la charge organique type, est présentée ci-dessous (Figure 1-A). Cette courbe diffère de celle déterminée par Fournier par l'absence de la phase de latence (phase 1) qui correspond à l'acclimatation des bactéries et leur spéciation et se traduit par conséquent par une dégradation modérée de la DCO (Figure 1-B). La quantité de biomasse utilisée par Fournier était en effet très faible 0,1 g/L de matières volatiles (biofilm prélevé à la surface d'un bassin d'infiltration). Dans notre cas la quantité de biomasse initiale comprise entre 2 pour EM2 et 4 g/L pour S1 de matières volatiles (est suffisante et adaptée pour que la dégradation débute immédiatement. Les phases 2 et 3 sont identiques aux tests réalisés par Fournier. A partir de ces données différents paramètres sont calculés afin de comparer l'influence des paramètres physico-chimiques et biologiques sur la biodégradation ; il s'agit de la durée de dégradation, de la pente de dégradation et de la constante de dégradation de 1^{er} ordre.

Figure 1 : Courbes de dégradation

A- Courbe type de dégradation de la charge organique au cours du temps (exemple de l'essai réalisé sur l'échantillon EM1 à 20°C et en conditions de référence (essai avec agitation, oxygénation, ajout d'éléments nutritifs et ajout de biomasse selon un rapport COD/MS=0,07)



B- Courbe type de dégradation pour les essais réalisés par Fournier (2001).



La durée de dégradation

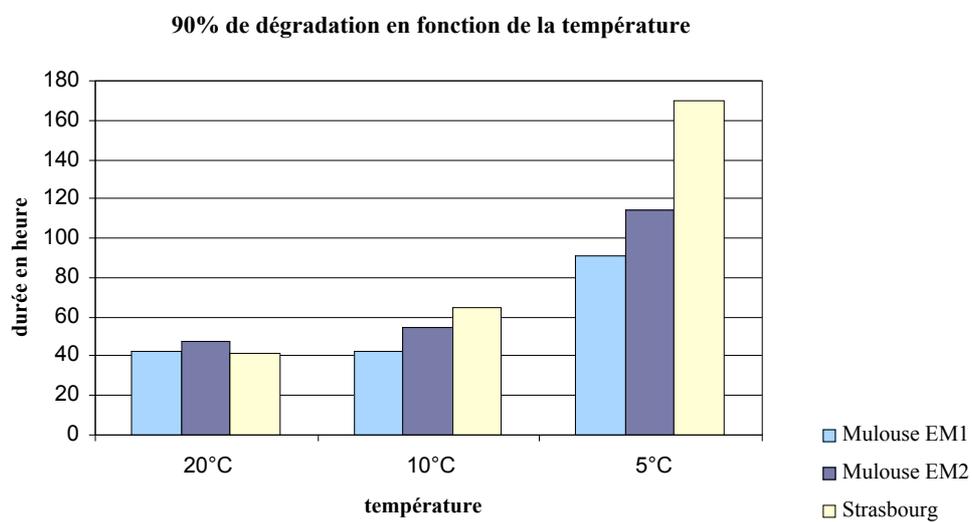
La durée de dégradation correspond au temps nécessaire pour atteindre une dégradation de 90% de la charge organique. Ces durées sont présentées pour les essais en conditions de référence dans le tableau 3 et la figure 2. Dans ces conditions de référence, les temps de dégradation sont équivalents pour les échantillons de Bâle-Mulhouse et de Strasbourg à 20 et 10°C (entre 43 et 75 heures) mais sont beaucoup plus longs à 5°C (entre 95 et 170 heures), l'échantillon de Strasbourg étant caractérisé par la durée la plus longue. Ces durées de dégradation sont du même ordre de grandeur que celles déterminées par Fournier : 42 à 54 heures (acétate et propylène glycol) à 20°C, à 67 heures (acétate) à 10°C en conditions de référence. A 5°C les temps de dégradation déterminés par Fournier sont plus longs : 173 et 263 h, pour l'acétate et le propylène glycol, respectivement). Cet allongement s'explique en partie par un temps de latence, nécessaire à l'adaptation de la biomasse, beaucoup plus important à cette température. Fournier montre de plus qu'à 5°C la durée de dégradation est supérieure pour le propylèneglycol à celle de l'acétate. Dans notre cas, la durée de dégradation la plus longue à 5°C semble liée aux fortes concentrations en acétate et glycols dans l'échantillon de Strasbourg alors que pour les échantillons de Mulhouse une « préparation de la charge organique à la dégradation » semble s'être opérée dans le réseau en amont transformant le glycol en métabolites intermédiaires plus facilement dégradables.

Pour les essais réalisés en dehors des conditions de référence, les durées de dégradation calculées à partir des pentes de dégradation pour atteindre une dégradation de 90% sont présentées dans le tableau 4. La durée extrême de 1500 heures (62,5 jours) est déterminée sur l'un des échantillons de Bâle-Mulhouse à 5°C en conditions d'agitation et d'oxygénation. La durée maximale déterminée avec biomasse introduite dans l'échantillon est de 391 heures (16,3 jours) pour l'échantillon de Strasbourg à 5°C avec agitation et oxygénation. Pour l'interprétation concernant l'influence des paramètres testés on préférera l'utilisation des pentes et constantes de dégradation.

Tableau 3 : Durée de dégradation et pourcentage de dégradation mesuré pour les trois échantillons en conditions de référence à 20, 10 et 5°C (essai avec agitation, oxygénation, ajout d'éléments nutritifs et ajout de biomasse selon un rapport COD/MS=0,07)

	Température (°C)	Durée (h)	% de dégradation
Mulhouse EM1 (produit de dégivrage)	20	42,25	95,2
	10	42,50	94,5
	5	90,7	89,6
Mulhouse EM2 (produit de dégivrage)	20	48	95,9
	10	54,67	92,8
	5	114,67	94,1
Strasbourg (produit de déverglaçage/dégivrage)	20	41,33	94,7
	10	64,70	94,3
	5	170,25	85,3

Figure 1 : Comparatif des durées de dégradation déterminées en fin de test dans les conditions de référence à 20, 10 et 5°C.



La pente et constante de dégradation

La pente de dégradation est calculée par régression linéaire réalisée sur la zone de forte décroissance du COD dans une représentation % de dégradation = f(t). La vitesse de dégradation de la charge organique peut être approchée par une réaction chimique de premier ordre et donc par une évolution du logarithme népérien de la concentration de la charge organique temporelle linéaire. Ainsi la constante de dégradation de 1^{er} ordre k peut être calculée par régression linéaire dans une représentation $-\ln(C/C_0) = f(t)$.

Tableau 4 : Constantes, pentes et durées de dégradation calculées pour chaque essai.

	T (°C)	Constante de dégradation k (en j ⁻¹)	Pente de dégradation (en %. h ⁻¹)	Durée de dégradation (90%) théorique* (en heures)	Conditions d'essais
Echantillon « EM1 » - Bâle-Mulhouse	20	0,26	0,71	126,8	ag
	20	0,24	0,76	118,4	ag / O ₂
	20	1,67	1,35	66,7	ag / O ₂ / B
	20	1,56	1,31	68,7	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
	20	1,51	1,45	62,1	ag / O ₂ / B / P
	10	1,24	2,07	43,5	ag / O ₂ / B
	10	1,31	1,89	47,6	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
	5	0,23	0,61	147,5	ag / O ₂ / B
	5	0,51	0,86	104,7	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
Echantillon « EM2 » - Bâle-Mulhouse	20	0	0	?	ag / O ₂
	20	0	0	?	ag / O ₂
	20	0,51	1,33	67,7	ag / O ₂ / B
	20	0,68	0,89	101,1	ag/O ₂ /B
	20	0,11	0,43	209,3	ag / B
	20	0,42	0,44	204,5	ag / B
	20	0,78	1,29	69,8	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
	20	1,52	1,29	69,8	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
	10	0,06	0,2	450,0	ag / O ₂
	10	0,93	1,33	67,7	ag / O ₂ / B
	10	0,57	1,11	81,1	ag / O ₂ / 0,5B / N / P
	10	1,04	1,25	72,0	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
	5	0	0,06	1500,0	ag / O ₂
	5	0,19	0,36	250,0	ag / O ₂ / B
5	0,24	0,46	195,7	ag / O ₂ / 0,5B / N / P	
5	0,57	0,54	166,7	Réf : ag / O ₂ / B / N / P	
Echantillon S1 - Strasbourg	20	0	0	-	ag / O ₂
	20	1,08	1,45	62,1	ag / O ₂ / B
	20	1,67	1,96	45,9	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
	20	2,26	2,64	34,1	ag / O ₂ / 2B / N / P
	20	1,49	0,9	100,0	ag / O ₂ / 0,5B / N / P
	20	1,63	1,33	67,7	ag / O ₂ / 0,6B / N / P
	10	0,17	0,34	264,7	ag / O ₂ / B
	10	1,23	1,24	72,6	Réf : ag / O ₂ / B / N / P
	5	0	0	-	ag / O ₂
	5	0,07	0,23	391,3	ag / O ₂ / B
5	0,18	0,56	160,7	Réf : ag / O ₂ / B / N / P	

Réf : conditions de référence

ag : agitation O₂ : oxygénation

N : azote (concentration de référence)

B : biomasse de référence

P : phosphore (concentration de référence)

* calculée d'après la pente de dégradation

Au terme de cette nouvelle expérimentation, il est possible de déterminer les paramètres physico-chimiques et biologiques optimisant les processus de dégradation des produits de viabilité hivernale utilisés sur les aéroports.

La cinétique caractérisée par la constante de dégradation k , augmente globalement avec la température (entre 5 et 10°C) et avec la quantité de biomasse introduite. A faible température (5°C), l'apport d'éléments nutritifs peut optimiser la dégradation des produits, ce qui est d'ailleurs en accord avec les données de la littérature.

Il n'est pas possible de discriminer, sur la base des essais réalisés, une différence de cinétique liée à la nature des produits utilisés (déverglaçants et/ou dégivrants).

En terme de gestion des effluents pluviaux chargés en produits de dégivrage et de déverglaçage, il paraît évident que le créneau de température <10°C est le plus problématique. En effet, si la dégradation de ces produits semble possible dans le milieu même à faible température, les temps de dégradation mis en jeu à 5 °C (plus de 2 mois pour atteindre 90% de dégradation) ne sont pas compatibles avec les temps de séjour dans un système d'assainissement. L'ajout de biomasse permettrait alors de diminuer considérablement ces temps (temps de l'ordre de 10 jours) alors que l'ajout supplémentaire d'éléments nutritifs ne les diminuerait pas considérablement.

Dans le cadre de cette expérimentation, la dégradation assistée par un ajout optimal de biomasse et d'oxygène peut constituer une piste de réflexion permettant d'atteindre des taux de dégradation, à faible température, compatibles avec la gestion des effluents pluviaux. Dans tous les cas, la présence d'équipements fonctionnels augmentant le temps de séjour et/ou transformant les principes actifs (glycols, acétates) en métabolites dans le système d'assainissement pourrait contribuer à limiter le temps de dégradation des produits de viabilité hivernale.

La version complète de l'étude est téléchargeable sur le site internet du service technique de l'Aviation civile - <http://www.stac.aviation-civile.gouv.fr>



Benoît MARS
Service technique de l'Aviation civile,
département Aménagement, Capacité, Environnement,
division Environnement
9 avenue Grynfogel,
BP 53735, 31037 TOULOUSE Cedex 1



Philippe BRANCHU
Laboratoire Régional de l'Ouest Parisien,
Pôle Scientifique et Technique de la DREIF,
12 Rue Teisserenc de Bort,
78190 TRAPPES Cedex

Etude réalisée avec le concours technique et financier des aéroports de Bâle-Mulhouse et de Strasbourg.



Ressources, territoires et habitats
Energie et climat Développement durable
Prévention des risques Infrastructures, transports et mer

Présent pour l'avenir

Service technique de l'aviation civile

31, avenue du Maréchal Leclerc
94381 BONNEUIL-SUR-MARNE CEDEX
Tél. 33 (0)1 49 56 80 00
Fax 33 (0)1 49 56 82 19

Site de Toulouse

9, avenue du Docteur Maurice Grynfolgel - BP 53735
31037 TOULOUSE CEDEX 1
Tél. 33 (0)1 49 56 83 00
Fax 33 (0)1 49 56 83 02

Centre de test de Biscarrosse

Centre d'essais de lancement de missiles - BP 38
40602 BISCARROSSE CEDEX
Tél. 33 (0)5 58 83 01 73
Fax 33 (0)5 58 78 02 02