



# CENTRE ACER

## Rapport – Projet pH-mètre

Projet de recherche effectué en  
collaboration avec la table sectorielle  
acéricole du MAPAQ

PRÉPARÉ PAR

Mérlilie Gagnon, Lily-Anne Bergeron, Jessica Durand, Lise Lessard et Luc Lagacé

2026-02-15

Présenté à David Lapointe et Mathieu Gingras

Table sectorielle acéricole du MAPAQ



Partenariat canadien pour  
une agriculture durable

Québec 

Canada 



*Toute information contenue dans ce document est la propriété du Centre ACER.*

*Cette information ne peut pas être utilisée, reproduite ou transmise sans l'autorisation écrite du Centre ACER, à moins que ce ne soit pour usage personnel et non commercial. Lorsque de l'information issue de ce rapport est utilisée, reproduite ou transmise à une tierce personne, pour toute fin autorisée, il doit être clairement indiqué sur les documents utilisés, reproduits ou transmis que cette information est la propriété du Centre ACER.*

## TABLE DES MATIÈRES

<b>1- Résumé</b>	<b>4</b>
<b>2- Abstract</b>	<b>4</b>
<b>3- Introduction</b>	<b>5</b>
3-1 Mise en contexte	5
3-2 Objectifs	5
<b>4- Méthodologie</b>	<b>5</b>
4-1 Sélection des équipements	5
4-2 Types d'échantillons	6
4-3 Mesure de pH des différents échantillons	7
4-4 Test de neutralisation	8
4-5 Analyses statistiques	9
<b>5- Résultats et discussions</b>	<b>10</b>
5-1 Efficacité des bandelettes de papier pH	10
5-2 Efficacité des pH-mètres portatifs	12
5-3 Efficacité des bandelettes et pH-mètre lors de la neutralisation	14
<b>6- Conclusion</b>	<b>15</b>
<b>7- Remerciements</b>	<b>15</b>
<b>8- Bibliographie</b>	<b>16</b>
<b>9- Annexes</b>	<b>17</b>
9-1 Annexe 1	17
9-2 Annexe 2	18
9-3 Annexe 3	20

## 1- Résumé

Le présent projet visait à évaluer la performance de différents pH-mètres portatifs et bandelettes de papier pH utilisés en érablière afin de guider les producteurs et productrices acéricoles dans le choix d'un équipement fiable et adapté aux conditions de terrain. Cinq modèles de pH-mètres portatifs, un modèle de pH pour les mesures en continu et quatre types de bandelettes couvrant divers intervalles de pH ont été comparés en laboratoire sur cinq types d'échantillons représentatifs des opérations acéricoles : concentré de sève, sirop, eaux de lavage, solution de lavage acide et solution de lavage basique. Les analyses ont montré que les bandelettes à large intervalle de pH présentaient en général une sous-estimation importante et des limites d'accord élevées, tandis que les bandelettes à intervalles restreints offraient une meilleure fiabilité, mais nécessitent plusieurs modèles pour couvrir les besoins courants. Les pH-mètres portatifs ont démontré une précision globalement adéquate, avec des performances supérieures pour le HANNA HI98127 (calibré à pH 4 et 7), le HANNA HI98108 (modèle récent) et le système de mesure de pH en continu (MEMProtect). L'étude confirme également que la température des solutions de calibration, le délai depuis la calibration et, dans une moindre mesure, la température des échantillons peuvent influencer la qualité des mesures. Dans deux essais de neutralisation, le pH-mètre portatif HANNA HI98108 et les bandelettes Macherey-Nagel (92110) couvrant une gamme de pH de 0 à 14 ont démontré une très bonne fiabilité. Les recommandations qui en découlent permettront d'améliorer l'exactitude et la fiabilité du suivi du pH en érablière, notamment dans un contexte de neutralisation des eaux de lavage.

## 2- Abstract

The purpose of this project was to evaluate the performance of various portable pH meters and pH paper strips used in maple syrup operations, in order to guide producers in selecting reliable equipment suited to field conditions. Five models of portable pH meters, one continuous measurement pH system, and four types of pH paper strips covering different pH ranges were compared in the laboratory using five types of samples representative of maple production activities: sap concentrate, syrup, wash water, acidic wash solution, and basic wash solution. Results showed that pH strips with a wider range of values generally exhibited substantial underestimation and large limits of agreement, whereas strips with narrower ranges provided better reliability but required multiple models to cover typical operational needs. The portable pH meters demonstrated overall adequate precision, with the HANNA HI98127 (calibrated at pH 4 and 7), the HANNA HI98108 (recent model), and the continuous pH measurement system (MEMProtect) performing the best. The study also confirmed that the temperature of calibration solutions, the time elapsed since calibration, and, to a lesser extent, the temperature of the samples can influence measurement accuracy. In two neutralization trials, the portable HANNA HI98108 meter and the Macherey-Nagel 92110 pH strips (pH range 0–14) showed very high reliability. The recommendations resulting from this project will help improve the accuracy and reliability of pH monitoring in maple operations, particularly in the context of wash water neutralization.

## 3- Introduction

### 3-1 Mise en contexte

Plusieurs producteurs et productrices acéricoles peuvent être confrontés à des choix d'équipements et à un manque d'information pour la mesure du pH en érablière. Que ce soit pour la neutralisation des rejets de production en érablière ou pour le contrôle de la qualité de la sève, les options sont multiples quand vient le temps de sélectionner et d'utiliser un pH-mètre. Le MAPAQ a souhaité obtenir des informations sur l'utilisation du pH-mètre en érablière et la comparaison de différents modèles afin de mieux orienter les producteurs qui ont recours au programme d'aide financière pour ces équipements. Il existe également des bandelettes de papier pH qui peuvent être utilisées pour prendre des mesures de pH, mais elles sont reconnues pour être moins précises que les pH-mètres. Considérant que leur utilisation pourrait être plus facile pour les producteurs et productrices, il demeure important d'évaluer leur efficacité en érablière.

Il est connu que la mesure du pH peut varier en fonction de différents facteurs, comme la nature de l'échantillon et sa température. En termes de calibration, le délai entre celle-ci et la prise de mesure aura un impact, ainsi que la température des solutions de calibration. Bien qu'il puisse avoir une compensation automatique de la température sur certains pH-mètres, il est préférable de calibrer les pH avec des solutions de calibration qui ont la même température que les échantillons. Cependant, cela n'est pas nécessairement possible en érablière.

### 3-2 Objectifs

Ce projet consistait à inventorier les différents modèles disponibles pour la mesure du pH en érablière et à caractériser leurs différents avantages et inconvénients dans le but d'orienter le ou les choix les mieux appropriés pour les producteurs acéricoles. Des tests en laboratoire ont été menés pour comparer les différents équipements vus comme étant les plus appropriés.

## 4- Méthodologie

### 4-1 Sélection des équipements

Les équipementiers en acériculture, des compagnies d'équipement de laboratoire ainsi que des plateformes de ventes en ligne ont été consultés pour connaître les différents modèles de pH-mètres portatifs et sélectionner les plus appropriés pour un usage acéricole. Quatre modèles différents de pH-mètre ont été achetés (Tableau 1). Pour le modèle HI98108, une nouvelle version est maintenant disponible sur le marché qui permet d'avoir une calibration à trois points plutôt qu'à deux points. L'ancien modèle qui était disponible au Centre ACER a toutefois été testé, considérant que certains acériculteurs peuvent l'avoir en main. Un pH-mètre pour la mesure du pH en continu a également été inclus à titre comparatif. Une photo de chacun de modèle se trouve à l'annexe 1.

Tous les pH-mètres étaient neufs, sauf l'ancien modèle du HI98108. Pour chacun des modèles, la procédure du fabricant a été suivie pour les mettre en marche. Pour l'appareil usagé, la sonde a été nettoyée en la faisant tremper dans la solution de nettoyage (Hanna HI7061) pendant 30 min, puis dans l'eau déminéralisée pendant 30 s. Pour tous les appareils, sauf le MEXYBE PH02, il était recommandé par le fabricant de conserver la sonde entre les mesures dans une solution

d'entreposage qui doit être mis dans le couvercle de l'instrument. La solution d'entreposage Hanna HI70300 a été utilisée. Pour le MEXYBE PH02, la sonde doit être trempée dans l'eau déminéralisée pendant 30 s. En plus des pH-mètres, quatre modèles de bandelettes de papier pH ont également été testés, afin de vérifier leur efficacité (Tableau 2; Figure 3). Le modèle Mquant 1.0953 vient également avec une application mobile pour la lecture des résultats en apposant la bandelette sur la carte de référence (Figure 3). Cela a également été testé.

**Tableau 1.** Caractéristique des pH-mètres testés dans le projet.

Compagnie	Modèle	Résistant à l'eau	Nombre de points de calibration	pH des solutions de calibration	Solution d'entreposage
HANNA instruments	HI98127	Oui	2	4,01 et 7,01 ou 7,01 et 10,01	Oui
	HI98108 (ancien modèle)	Oui	2	4,01 et 7,01 ou 7,01 et 10,01	Oui
	HI98108 récent (modèle récent)	Oui	3	4,01; 7,01 et 10,01	Oui
Visiosun	PH001J	Oui	3	4,00, 6,86 et 9,18	Oui
MEXYBE	PH02	Non	3	4,00, 6,86 et 9,18	Non, à réhydrater dans l'eau déminéralisée 30 min avant
MemProtect		Sonde Oui	3	4,01; 7,01 et 10,01	Oui

**Tableau 2.** Modèle de bandelettes de papier pH

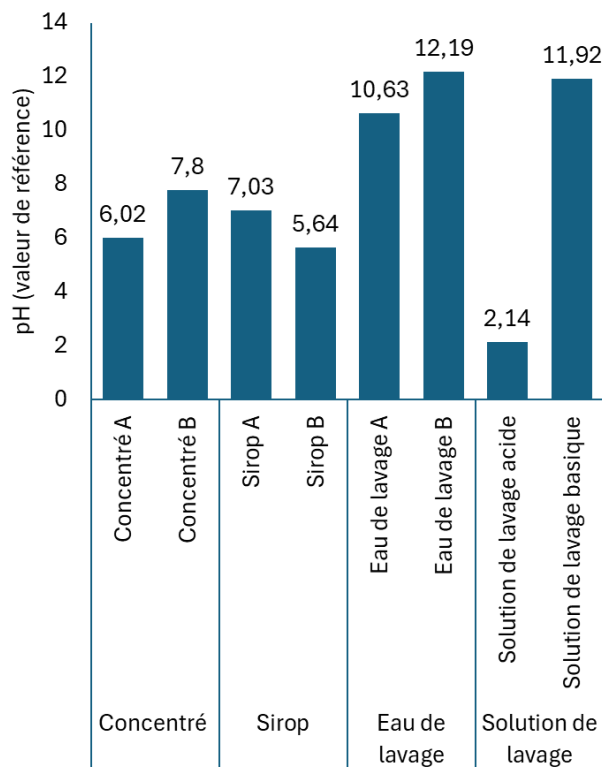
Compagnie	Modèle	Gamme de pH	Unité de pH	Carrés d'étalonnage
Supelco	Mquant 1.09535	1-14	1	4
Supelco	Mquant 1.10962	1-14	1	1
Indigo Instruments	PN 33812-0025	0-2,5 et 10-13	0.5	1
	PN 33812-1013			
Macherey-Nagel	92110	0-14	1	4

## 4-2 Types d'échantillons

En acériculture, le pH peut être mesuré pour différents types d'échantillons. Cinq types ont été identifiés comme les plus susceptibles d'être mesuré fréquemment et représentant l'intervalle de pH qui peut être rencontré, soit le concentré de sève, le sirop, les eaux de lavage de l'osmose inverse, la solution de lavage acide et la solution de lavage basique (savon). Pour le concentré, l'eau de lavage et le sirop, deux échantillons différents ont été pris dans l'inventaire disponible au Centre ACER. Pour la solution de lavage basique, 125 g de savon (soude caustique) a été dilué dans 1L d'eau du robinet.

De l'eau a été ajoutée pour s'assurer que le pH soit entre 10 et 12, selon les recommandations pour le nettoyage des concentrateurs membranaires (Centre ACER & Houde, 2024). Quant à la solution acide, 20 mL d'acide citrique (50% v/v) a été ajout dans 980 mL d'eau. Le pH a été mesuré pour s'assurer qu'il n'était pas en dessous de 2, également selon les recommandations.

Les échantillons ont été subdivisés et congelés à -20 °C. La veille de la prise de mesure, les nombres de portions nécessaires de chaque échantillon étaient mis à 4 °C (~16h). Le matin de l'expérience, les échantillons étaient mis aux températures voulues. À chaque prise de mesure, le pH des échantillons à 20 °C a été mesuré avec le pH-mètre de table du laboratoire (Orion Star A215) pour avoir la valeur de référence (Figure 1).



**Figure 1.** Valeur de référence de pH des différents échantillons

#### 4-3 Mesure de pH des différents échantillons

Lors des prises de mesure, les solutions de calibration étaient mises au frigo (4 °C), à température pièce (20 °C) et dans un bain-marie à 30 °C. Selon la nature des échantillons, ceux-ci étaient incubés au minimum 30 min avant la prise de lecture à différentes températures en fonction des températures auxquelles en érablière ils pourraient être mesurés (Figure 2). Pour la prise de mesure immédiatement après calibration, les appareils ont été calibrés avec des solutions de calibration à 4 °C pour commencer. Pour les pH-mètres avec une calibration à deux points, ils ont été calibrés dans l'intervalle de pH 4-7. La mesure de pH pour tous les échantillons aux différentes températures a été prise avec les différents appareils. Par la suite, la calibration avec les solutions à 30 °C a été réalisée, suivie de la mesure de pH des échantillons. Finalement, les mesures de pH ont été effectuées avec les appareils calibrés à 20 °C. C'est cette dernière calibration qui a été conservée

pour la prise de mesure 1 semaine après la calibration et 1 mois après la calibration. Pour les appareils se calibrant à 3, ils ont été testés jusqu'à 2 mois après la calibration. Après un mois de calibration, les deux pH-mètres se calibrant à 2 points ont été calibrés à nouveau avec les solutions à pH 7 et à pH 10. Les mesures de pH ont été effectuées immédiatement, une semaine et un mois après calibration comme présenter précédemment. Les bandelettes de marque Supelco et Macherey-Nagel ont été testées avec tous les échantillons aux différentes températures. Les bandelettes de marque Indigo Instruments ont été testées seulement avec les échantillons d'eau de lavage et de solution de lavage acide et basique, en raison de leur intervalle de pH.

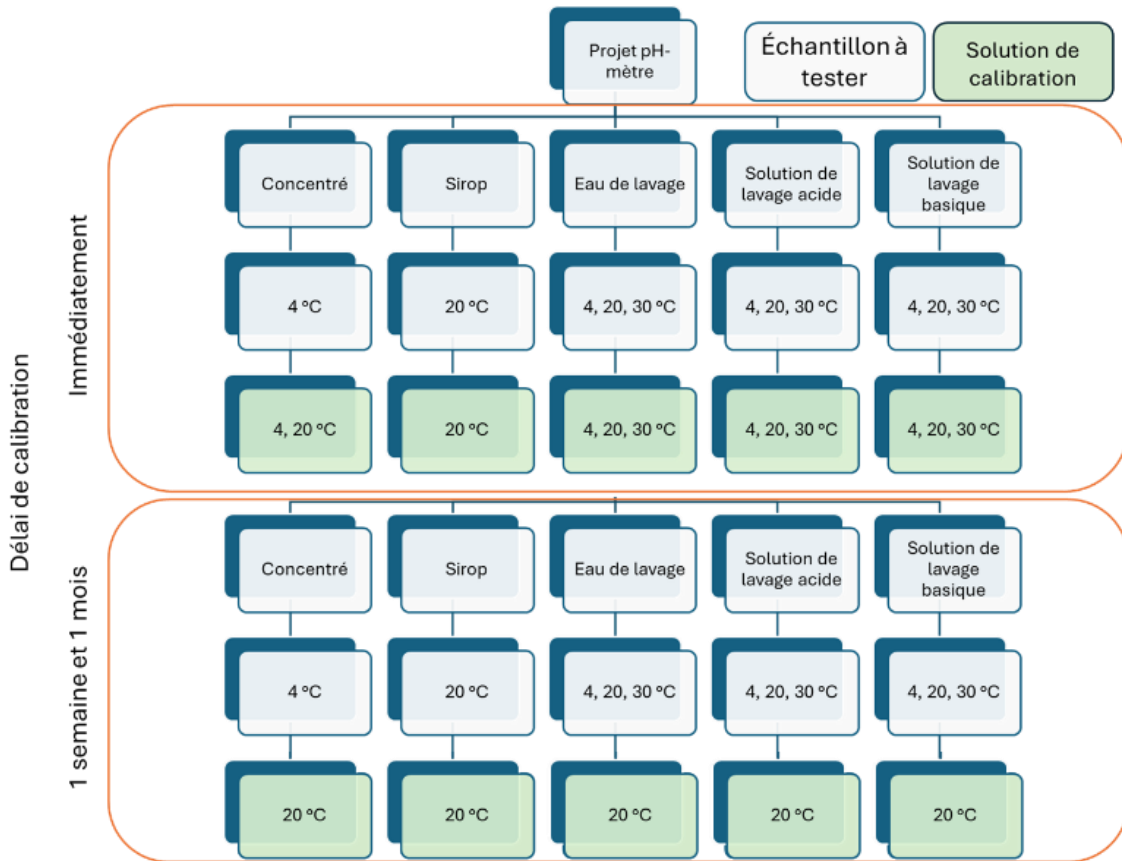


Figure 2. Design expérimental

#### 4-4 Test de neutralisation

Dans la section 7-1, il est expliqué que les bandelettes avec un intervalle de mesure de pH plus étroit (Indigo PN 33812) avaient une meilleure fiabilité. Il a donc été décidé de se procurer des bandelettes de cette compagnie avec un intervalle de pH permettant de mesurer des pH dans un contexte de neutralisation des eaux de lavage, soit entre pH 6,5 et 9. D'autres modèles de bandelettes avec des intervalles plus étroits ont également été acquis pour les tester dans un contexte de neutralisation. Le meilleur type de bandelettes couvrant un large intervalle de pH, ainsi que le meilleur pH-mètre portable a été testé également (Tableau 3).

**Tableau 3.** Modèle de pH-mètre et de bandelettes de papier pH testés dans un contexte de neutralisation

Type	Compagnie	Modèle	Gamme de pH
Bandelette	Macherey-Nagel	92110	0-14
	Indigo Instruments	33811-4510	4,5-10
	Hydrion	2210	4,5-8,5
pH-mètre	HANNA instruments	HI98108 récent	0-14

Afin de comparer les valeurs de pH obtenues avec les nouvelles bandelettes colorimétriques à celles mesurées à l'aide de deux pH-mètres (le pH-mètre de référence et le pH-mètre Hanna HI98108), deux essais de neutralisation ont été réalisés à partir d'un mélange des échantillons d'eau de lavage A et B. Les pH-mètres ont été calibrés sur trois points (4, 7 et 10) et utilisés immédiatement par la suite. Les deux essais de neutralisation ont été réalisés à partir d'un mélange des eaux de lavage A et B. Un volume de 200 mL a été utilisé. De petites quantités d'acide citrique à 50% (agent neutralisant) ont été ajoutées au mélange goutte à goutte, suivi d'une homogénéisation manuelle. Après chaque ajout, le pH était mesuré d'abord à l'aide des bandelettes, puis avec les deux pH-mètres. L'ajout d'acide citrique a été poursuivi jusqu'à atteindre un pH d'environ 3, afin d'observer le comportement des bandelettes à pH acide.

#### 4-5 Analyses statistiques

Pour chacune des mesures de pH effectuées, la différence entre la valeur mesurée par l'instrument à tester et la valeur de référence de l'échantillon a été calculée. Pour chaque type de bandelettes et de pH-mètres, un graphique de Bland-Altman a été réalisé afin de visualiser le biais moyen de l'appareil et la limite d'accord. Le biais moyen représente la moyenne des différences entre la valeur mesurée et la valeur de référence. Les limites d'accord correspondent à l'intervalle dans lequel il est attendu de trouver 95% des différences entre les deux méthodes de mesure (pH-mètre portable ou bandelette et pH-mètre de laboratoire). Ces limites se calculent selon l'équation ci-dessous ou SD représente l'écart-type des différences.

$$\text{Limites d'accord} = \text{Biais moyen} \pm 1,96 * SD$$

De plus, les comparaisons statistiques ont été effectuées avec le logiciel JMP18 et Copilot. Le modèle mixte linéaire a été utilisé. La variable dépendante correspondait à la différence entre le pH mesuré et le pH de référence. Les effets fixes pour la comparaison des bandelettes étaient le modèle de bandelette, le type d'échantillon et la température de l'échantillon. Les effets fixes pour la comparaison des pH-mètres étaient le modèle de pH-mètre, le type d'échantillon, la température des échantillons et la température de calibration et le délai de calibration.

## 5- Résultats et discussions

### 5-1 Efficacité des bandelettes de papier pH

Pour la prise de mesure avec les bandelettes, il est arrivé régulièrement que l'observateur ait hésité entre deux ou trois valeurs (Figure 3). Cela était plus prononcé pour le modèle Supelco 1.10962. Pour les bandelettes avec un intervalle d'une unité pH, les risques d'erreur se sont avérés élevés (Figure 4). Les graphiques de Bland-Altman démontrent que le biais moyen est plus élevé pour les bandelettes Supelco 1.10962 (Tableau 4; Annexe 2). En effet, en moyenne, le pH a été sous-estimé de 1,00 unité, tandis que le pH mesuré avec les bandelettes Supelco 1.09535 a été sous-estimé en moyenne de 0,59 unité. La plus grande sous-estimation de pH avec les bandelettes Supelco 1.10962 était de 2.5 unités de pH pour l'échantillon de solution de lavage basique à 30 °C. Les bandelettes 1.09535 ont sous-estimé quelques échantillons à différentes températures de 1,5 unité de pH (Figure 4). L'utilisation de l'application mobile pour la lecture des bandelettes n'a pas eu d'impact majeur sur le biais moyen et a augmenté les limites d'accord (Tableau 4). Les bandelettes Macherey-Nagel 92110 sous-estimaient en moyenne le pH de 0,21 unité. Il s'agit du modèle de bandelette couvrant l'intervalle de pH 1-14 avec les limites d'accord les plus faibles (0,87 et -1,29). Les bandelettes de marque Indigo avaient quant à elles un biais moyen de -0,03 unité de pH (Annexe 2) et avaient des limites d'accord les moins élevées (+0,71 et -0,64). Ces bandelettes avec un intervalle plus petit semblent donc plus fiables, mais il est nécessaire de se procurer plusieurs modèles pour couvrir l'intervalle de pH retrouvé en acériculture. Selon l'étude de (Metheny et al., 2017), les bandelettes colorimétriques comportant plusieurs carrés par étalonnage de pH étaient dans l'ensemble nettement supérieures à celles comportant un seul carré de test. C'est ce qui a été observé également entre les modèles de bandelettes couvrant l'intervalle de pH de 1-14. Selon l'analyse statistique, il n'y avait pas d'effet du type d'échantillon ( $P = 0,5896$ ) et de la température de l'échantillon ( $P = 0,6699$ ) sur la mesure de pH effectuée avec les bandelettes.

Pour l'utilisation des bandelettes en érablière, il est important de noter qu'elles ne doivent absolument pas être en contact avec l'humidité, sinon leur mesure sera invalide. Nous recommandons de les conserver dans un sac ou contenant de plastique hermétique. Il faut également sortir les bandelettes avec précaution pour ne pas humidifier les autres bandelettes.

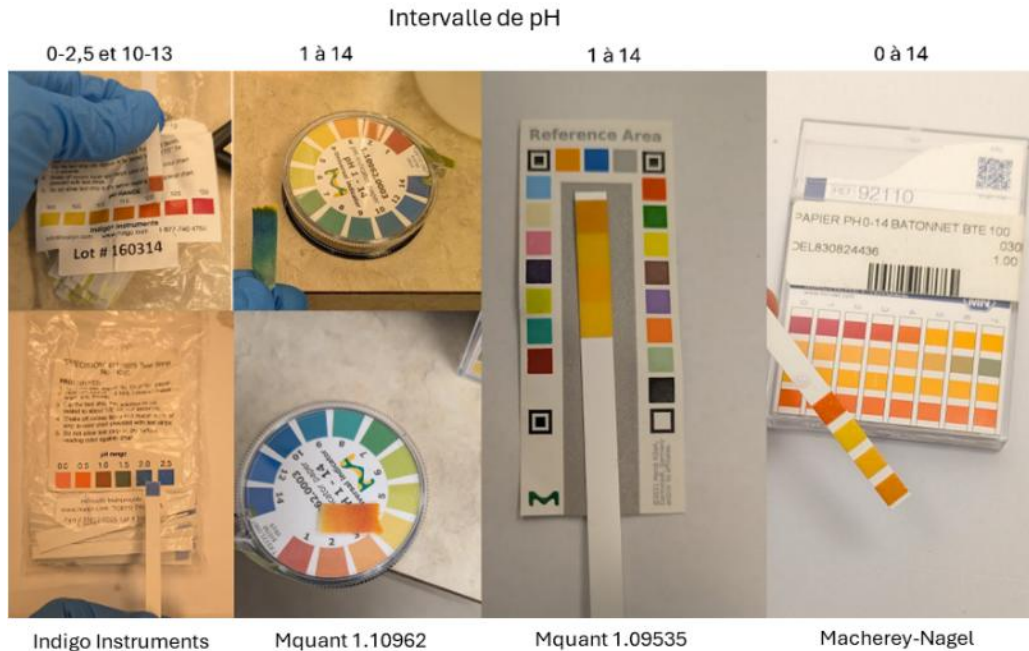


Figure 3. Mesure du pH avec les différents modèles de bandelettes.

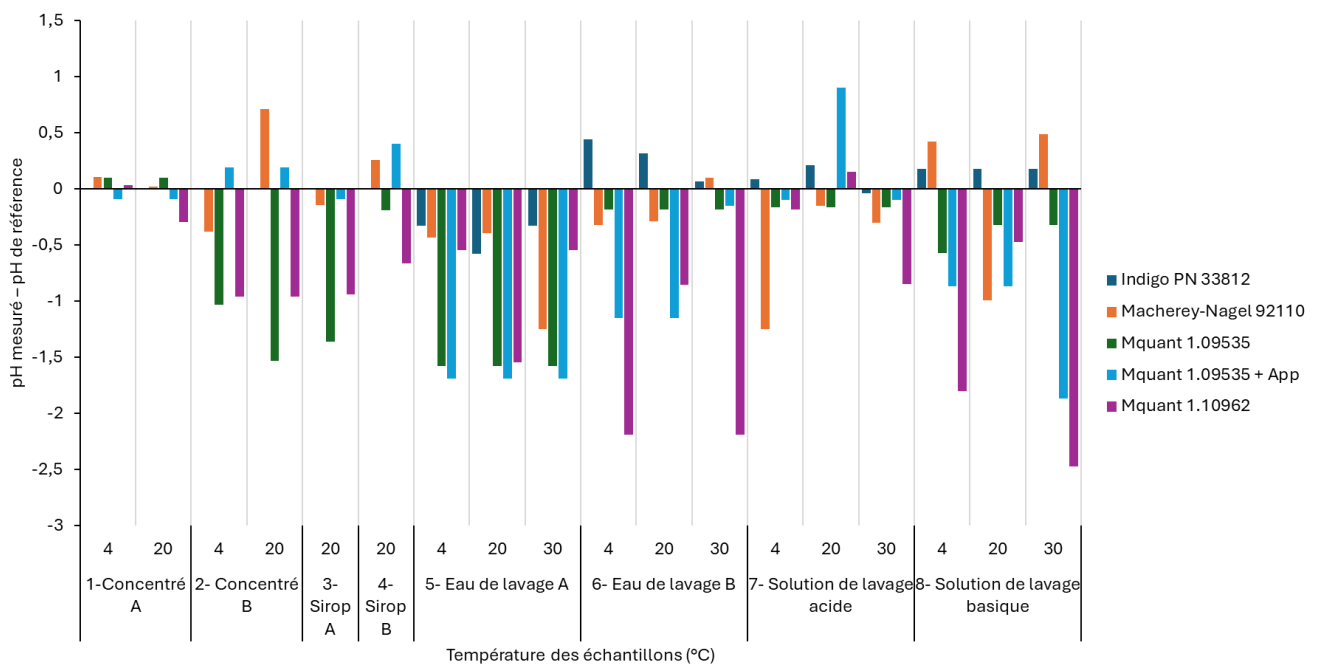


Figure 4. Différence d'unité de pH entre la mesure prise avec la bandelette moins celle prise par le pH-mètre de référence

**Tableau 4.** Résumé des graphiques de Bland-Altman présentant le biais moyen des pH-mètres ou bandelettes de papier pH et leurs limites d'accord

Type	Modèle	Biais <sup>1</sup>	Limite d'accord <sup>2</sup> positive	Limite d'accord négative
Bandelette	Supelco Mquant 1.09535	-0,59	0,65	-1,84
	Supelco Mquant 1.09535 + application mobile	-0,55	1,09	-2,19
	Supelco Mquant 1.10962	-1,00	0,65	-2,65
	Indigo Instruments PN 33812	<b>0,03</b>	<b>0,71</b>	<b>-0,64</b>
	Macherey-Nagel 92110	<b>-0,21</b>	<b>0,87</b>	<b>-1,29</b>
pH-mètre	HI98127 (pH 4-7)	<b>0,01</b>	<b>0,50</b>	<b>-0,49</b>
	HI98127 (pH 7-10)	0,34	0,49	-0,82
	HI98108 (ancien modèle) pH 4-7	-0,20	0,69	-1,10
	HI98108 (ancien modèle) pH 7-10	-0,16	0,49	-0,81
	HI98108 (modèle récent)	<b>0,02</b>	<b>0,57</b>	<b>-0,53</b>
	Visionsun PH001J	-0,16	0,30	0,62
	MEXYBE PH02	-0,12	0,41	-0,64
	MEMProtect	<b>0,01</b>	<b>0,42</b>	<b>-0,41</b>

<sup>1</sup> Le biais moyen représente la moyenne des différences entre la valeur mesurée et la valeur de référence (pH-mètre de laboratoire).

<sup>2</sup> Les limites d'accord correspondent à l'intervalle dans lequel il est attendu de trouver 95% des différences entre les deux méthodes de mesure.

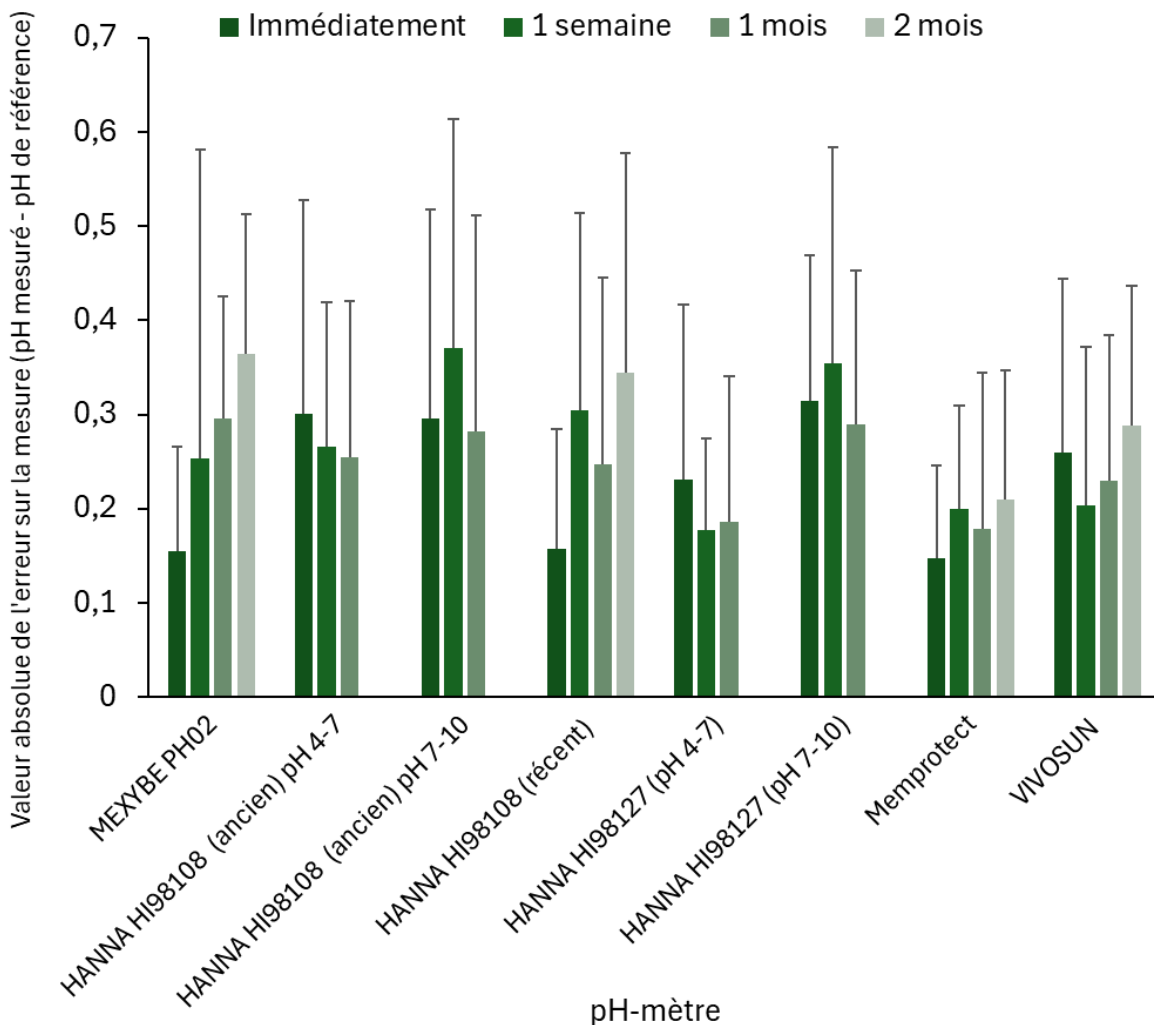
## 5-2 Efficacité des pH-mètres portatifs

Les graphiques de Bland-Altman (annexe 2) et résumé au tableau 4 démontre que de manière générale que le biais moyen et les limites d'accord sont adéquats pour un usage en érablière. Trois appareils se sont démarqués pour les biais moyens les plus faibles et les limites d'accord les plus restreintes, soit le HANNA HI98127 calibré avec les solutions à pH 4 et 7, le récent modèle de HANNA HI98108 et l'appareil de mesure de pH en continu de MEMProtect. L'ancien modèle du HI98108 avait les limites d'accord dans l'intervalle le plus large. Cela pourrait provenir du fait que ce modèle avait seulement deux points de calibration ou que la sonde avait quelques années. Pour les producteurs et productrices, en début de saison, s'ils n'utilisent un appareil neuf, il serait important de vérifier l'exactitude de la sonde. Pour cela, il est possible de suivre la procédure de vérification du MELCCFP (2019). Après avoir calibré le pH-mètre, la mesure de pH des solutions de calibration, il faut mesurer à nouveau les solutions de calibration. Si l'écart entre la valeur de pH de la solution de calibration et sa mesure est égal ou supérieur à 0,3 unité, l'électrode devrait être remplacée (certains appareils permettent de le faire) ou un nouveau pH-mètre devrait être employé.

En termes de calibration, les appareils HANNA se calibraient plus intuitivement que les autres modèles. De plus, le HANNA HI98108 récent affichait un petit sablier qui indique à quel moment effectué la lecture. Cela permet d'assurer une prise de lecture une fois l'appareil stabilisé. Il est bien certain qu'il faut s'assurer de la qualité des solutions de calibration. Il ne faut pas calibrer les pH-mètres directement dans les bouteilles d'origine. Une petite quantité doit être transvidée dans un contenant propre et les solutions doivent être renouvelées sur une base régulière. Il est recommandé de calibrer

les pH-mètres minimalement à chaque semaine (MELCCFP, 2019). Cependant, en prenant compte des réalités acéricoles, il se peut que cela ne soit possible. En général, l'écart entre la valeur référence et le pH mesuré avait tendance à augmenter plus le délai de calibration était long (Figure 5). La sonde du pH-mètre de MEMProtect semble la moins affectée par le délai de calibration. Pour les usages en érablière, une calibration par mois semble suffisante. Il faut en revanche rappeler qu'entre les calibrations la sonde doit être conservée dans une solution d'entreposage. Il est également important de noter que l'électrode du pH-mètre ne doit pas geler, car cela peut causer des dommages irréparables à la sonde.

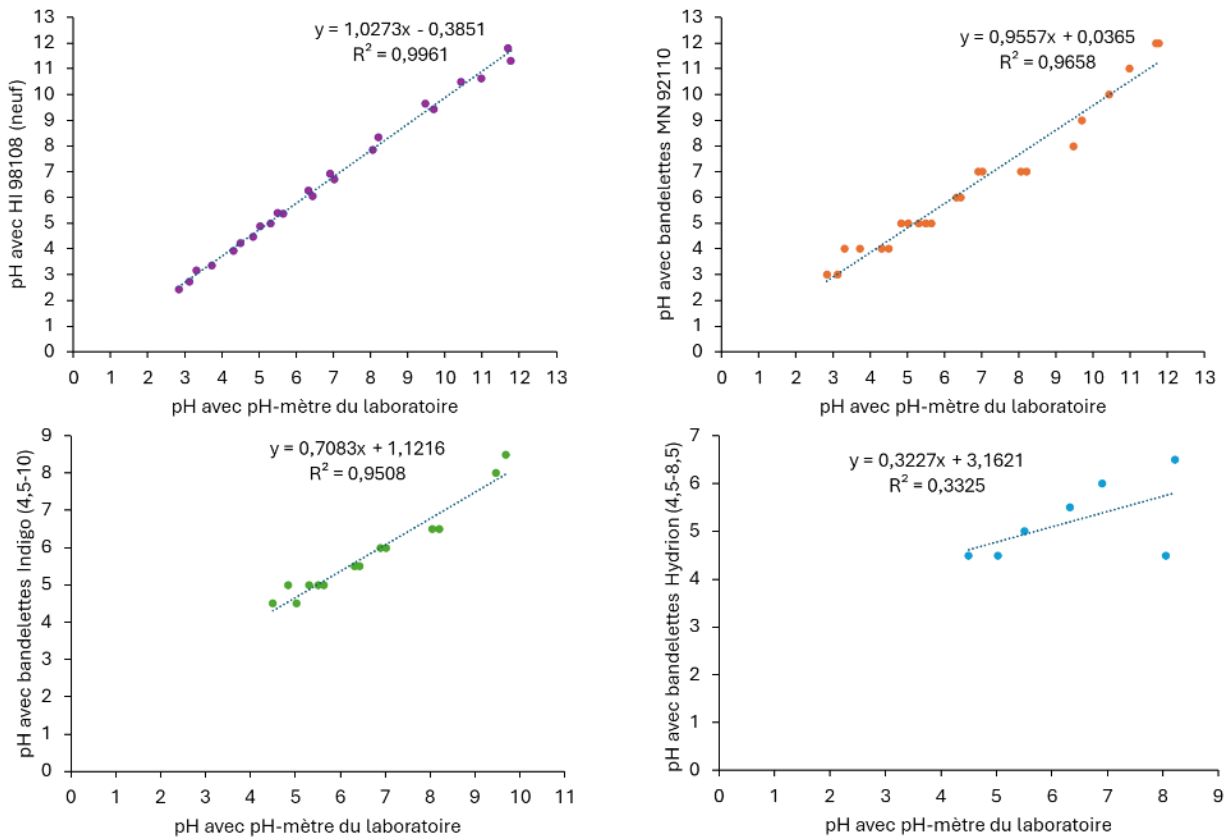
La température des solutions de calibration a eu un impact important ( $P < 0,05$ ) sur les modèles HANNA HI98127 calibré à pH 7-10, MEXYBE PH02, et HANNA HI98108 (ancien modèle). Pour les autres modèles, il n'y a pas eu d'effet significatif de la température des solutions de calibration ( $P > 0,1$ ).



**Figure 5.** Histogramme de l'erreur sur la mesure des différents pH-mètres en fonction du délai de calibration (calibration effectuée avec des solutions à 20 °C).

### 5-3 Efficacité des bandelettes et pH-mètre lors de la neutralisation

Deux essais de neutralisation ont été réalisés (annexe 3) avec le pH-mètre et les bandelettes indiqués au tableau 3. Pour chacun des modèles, une régression linéaire comparant les mesures de pH obtenues à celle du pH-mètre de référence a été réalisée (Figure 6). Le pH-mètre portable HANNA HI98108 (modèle récent) et les bandelettes Macherey-Nagel 92110 avaient une pente près de 1, soit 1,0273 et 0,9557, indiquant des valeurs qui suivent presque parfaitement les valeurs du pH de référence. Le coefficient de détermination ( $R^2$ ) du pH-mètre portable est près de 1 (0,9961) indiquant une correspondance fidèle aux valeurs de référence. Les bandelettes Macherey-Nagel 92110, bien que moins précises que le pH-mètre, avaient un  $R^2$  satisfaisant de 0,9658. Le modèle Indigo (pH 4,5-10) avait un  $R^2$  relativement bon de 0,9508, mais la pente de la régression indique que ces bandelettes surestiment les pH bas et sous-estiment les pH élevés. Le dernier modèle de marque Hydrion n'avait ni un bon  $R^2$  ni une bonne pente. Ce type de bandelette n'est donc pas adapté à la neutralisation des eaux de lavage acéricole.



**Figure 6.** Relations entre les mesures de pH effectuées avec le pH-mètre portable et trois modèles de bandelettes et les valeurs obtenues au pH-mètre de laboratoire dans une situation de neutralisation.

## 6- Conclusion

Les résultats obtenus dans le cadre de ce projet démontrent que le choix d'un instrument de mesure du pH a un impact significatif sur la précision et la justesse des valeurs obtenues en érablière. Parmi les bandelettes de papier testées, celles couvrant un large intervalle de pH (1-14) ont sous-estimé les valeurs, avec des biais moyens pouvant atteindre 1 unité de pH et des limites d'accord élevées. Les bandelettes Indigo dont l'intervalle est plus restreint ont montré la meilleure performance, mais leur utilisation demeure limitée par la nécessité de posséder plusieurs modèles pour couvrir l'ensemble des besoins. Au niveau des bandelettes, c'est le modèle Macherey-Nagel 92110 qui semble le plus adapté. En ce qui concerne les pH-mètres portatifs, trois appareils se démarquent clairement : le HANNA HI98127 (calibré à pH 4-7), le HANNA HI98108 (modèle récent) et le système de mesure en continu de MEMProtect, tous ayant des biais faibles et des limites d'accord compatibles avec une utilisation fiable en érablière. Pour les pH-mètres portatifs, en considérant que le récent modèle HANNA HI98108 se calibre en trois points et que cette dernière se réalise facilement, il serait le modèle à privilégier. À l'inverse, l'ancien modèle du HI98108 a présenté la variabilité la plus élevée, ce qui pourrait être lié à l'usure de la sonde ou à sa calibration à seulement deux points. Ces résultats soulignent l'importance d'utiliser des appareils dont la sonde est en bon état, conservée adéquatement dans une solution d'entreposage et remplacée lorsque la vérification post-calibration dépasse un écart de 0,3 unité de pH. Bien qu'une calibration hebdomadaire soit idéale d'un point de vue méthodologique, une calibration mensuelle semble suffisante pour la majorité des usages acéricoles, à condition que la sonde soit conservée dans de bonnes conditions. De plus, le pH-mètre portable HANNA HI98108 (modèle récent) ainsi que les bandelettes Macherey-Nagel 92110 ont démontré une bonne capacité à suivre l'évolution du pH dans un contexte de neutralisation.

En conclusion, ce projet permet d'identifier des outils fiables pour la mesure du pH en érablière et de formuler des recommandations pratiques qui faciliteront le choix, l'entretien et l'utilisation des pH-mètres et bandelettes. Ces résultats contribueront à améliorer la qualité des mesures et à optimiser les interventions acéricoles nécessitant un suivi précis du pH, notamment pour la neutralisation des eaux de lavage et le contrôle qualité en production.

## 7- Remerciements

Nous tenons à remercier les différents conseillers acéricoles qui se sont impliqués dans le projet, dont Joël Boutin pour ces conseils avisés. Nous remercions également Élodie Nadeau des PPAQ pour ces conseils durant le projet. Finalement, nous remercions Denis Côté de MEMProtect pour le prêt de sa sonde de pH.

## 8- Bibliographie

Centre ACER, & Houde, J. (2024). *Cahier de transfert technologique en acériculture: Les infrastructures et les équipements de récolte* (CRAAQ, Ed.; 2nd ed., Vol. 3).

MELCCFP, G. du Q. (2019). *Vérification de l'exactitude d'un pH-mètre*.

<https://www.environnement.gouv.qc.ca/eau/eaux-usees/Verification-exactitude-pH-metre.pdf>

Metheny, N. A., Gunn, E. M., Rubbelke, C. S., Quillen, T. F., Ezekiel, U. R., & Meert, K. L. (2017). Effect of pH Test-Strip Characteristics on Accuracy of Readings. *Critical Care Nurse*, 37(3), 50–58.

<https://doi.org/10.4037/CCN2017199>

## 9- Annexes

### 9-1 Annexe 1

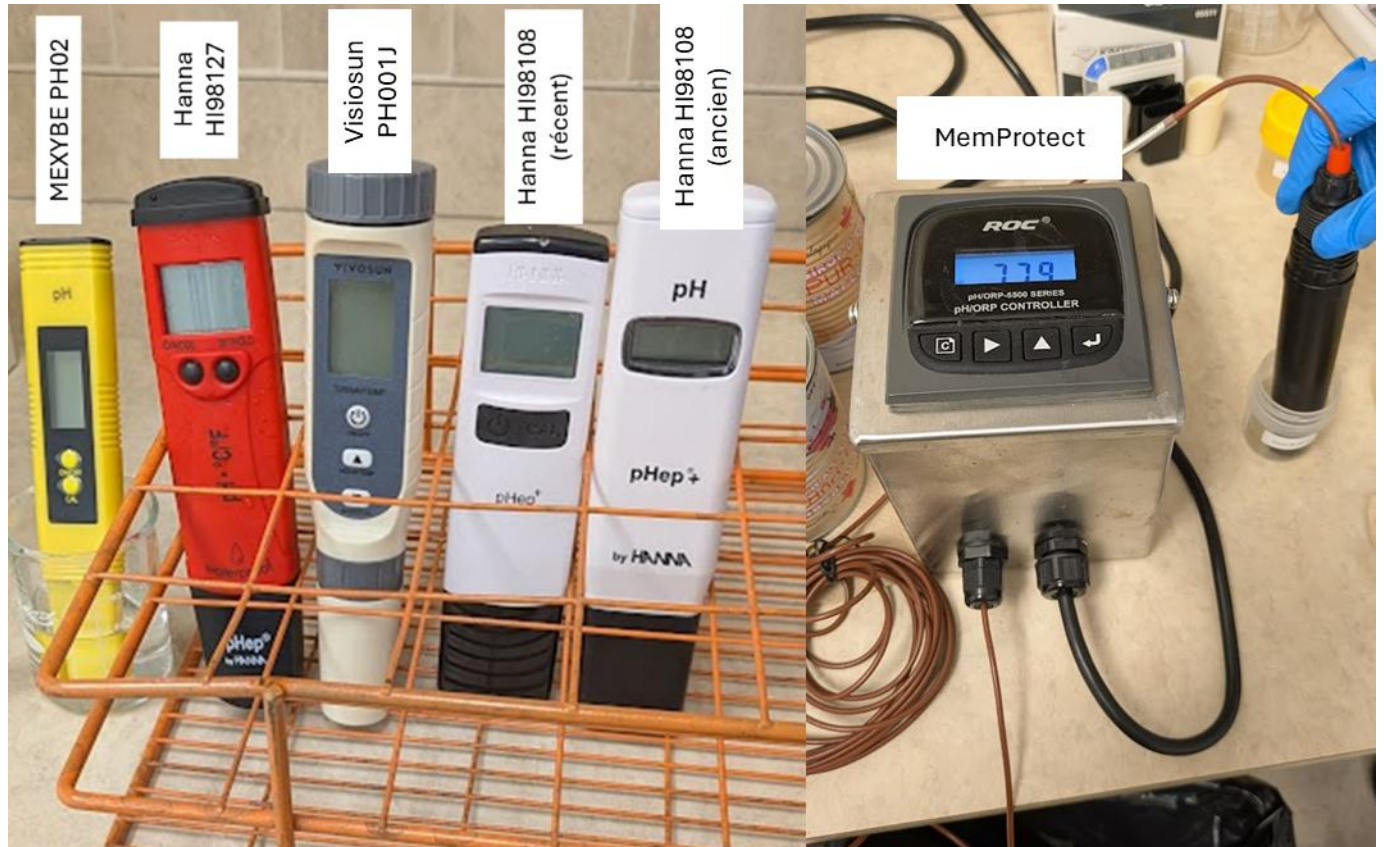
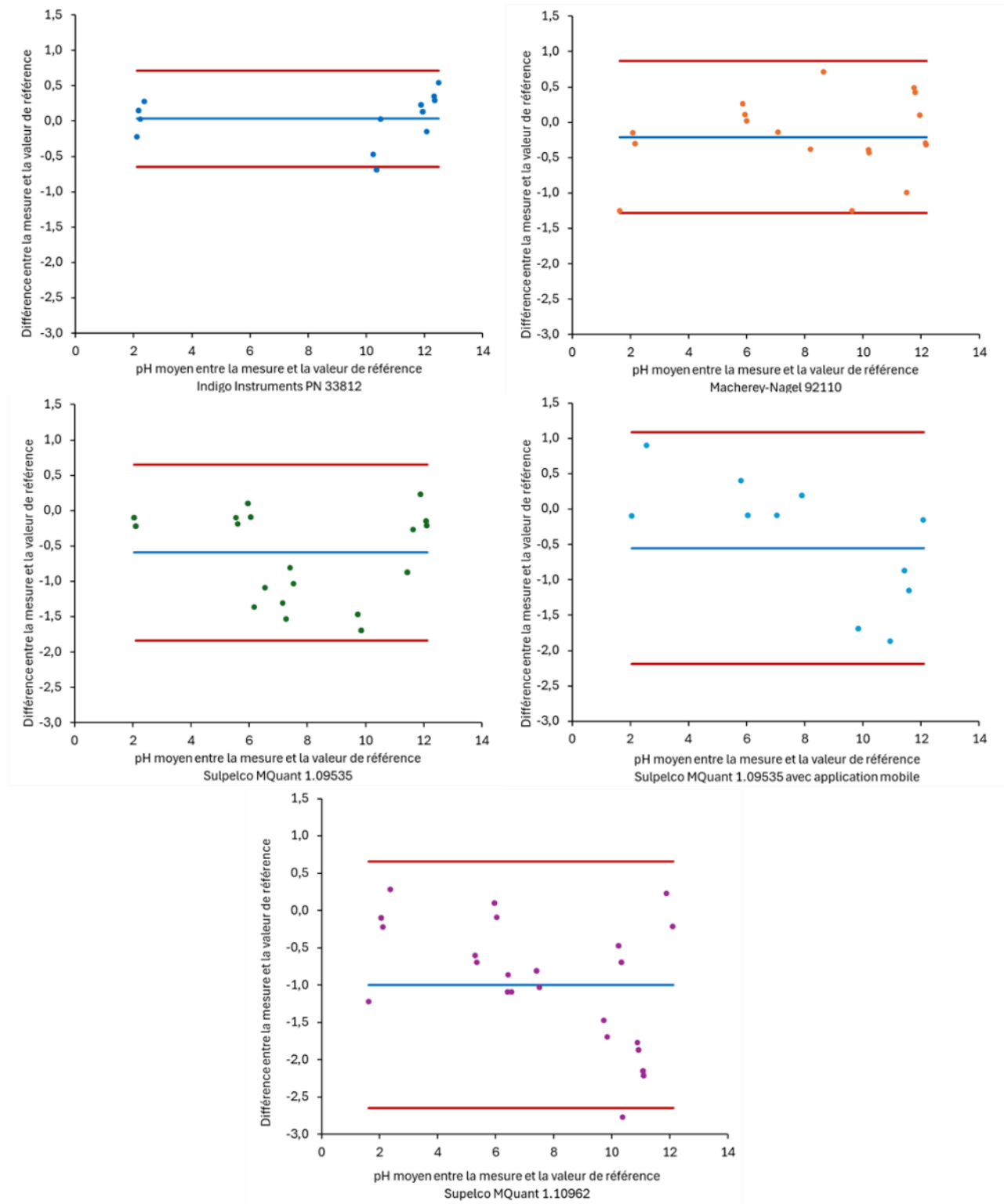
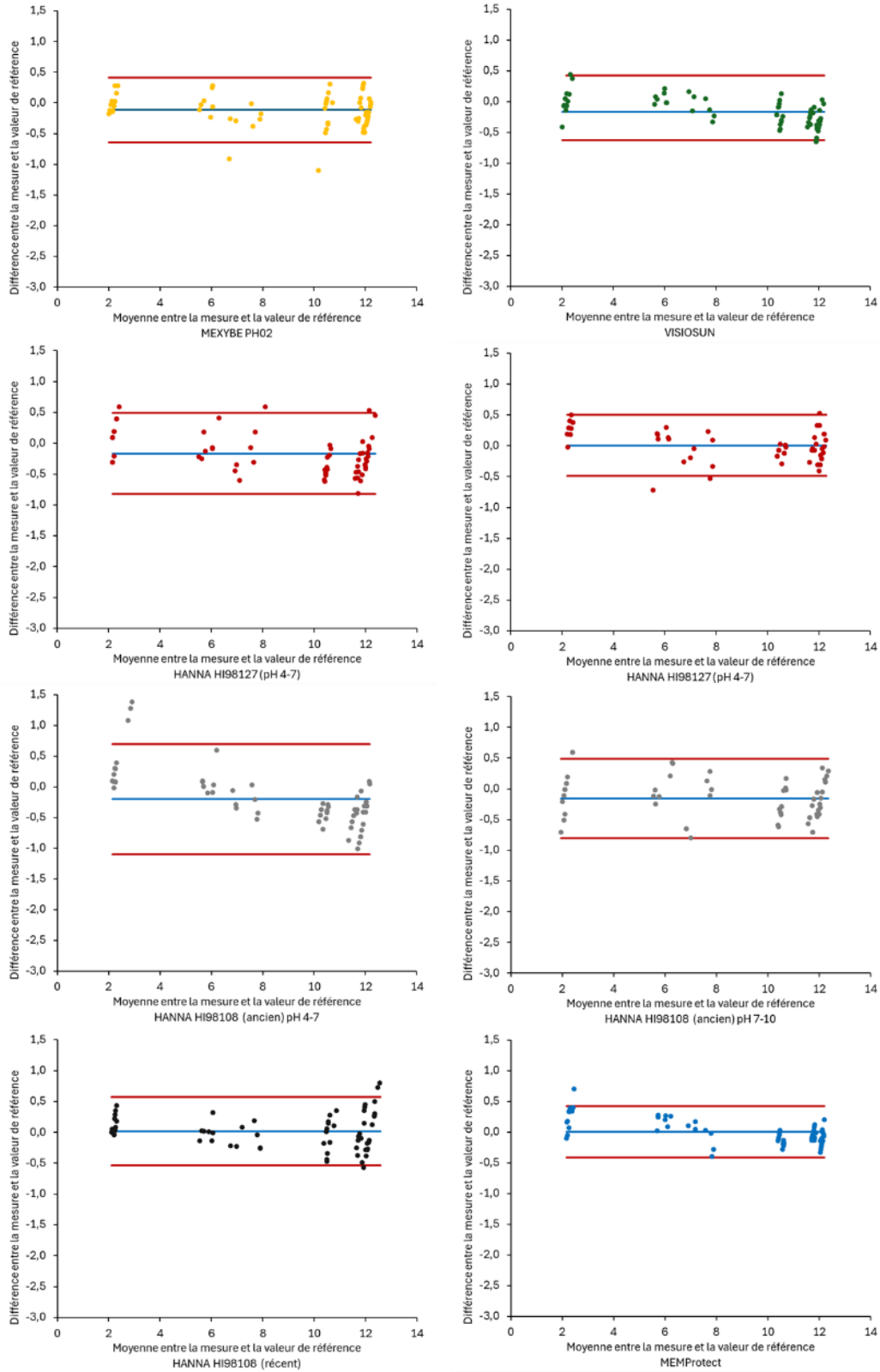


Figure 7. Les différents modèles de pH-mètre testés dans le projet

9-2 Annexe 2

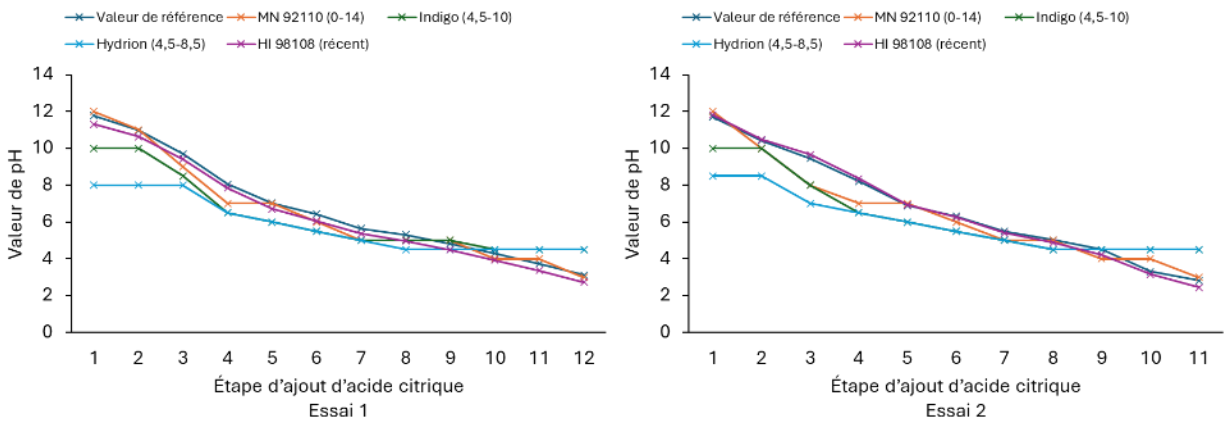


**Figure 8.** Graphique de Bland-Altman pour les différents types de bandelettes de papier pH. La ligne bleue au centre représente le biais moyen et les lignes rouges à chaque extrémité représentent les limites d'accord positive et négative.



**Figure 9.** Graphique de Bland-Altman pour les différents types de bandelettes de papier pH. La ligne bleue au centre représente le biais moyen et les lignes rouges à chaque extrémité représentent les limites d'accord positive et négative.

### 9-3 Annexe 3



**Figure 10.** Graphique des suivis de pH lors de deux essais de neutralisation d'eau de lavage avec ajout graduel d'acide citrique.