

Défis liés au contrôle de la qualité des boissons gazeuses modernes: stratégies analytiques et études de cas

Dr Francesca Bruni - Chercheuse au Laboratoire de Chimie CDR "Francesco Bonicolini"

Résumé:

L'évolution du marché mondial des boissons non alcoolisées vers des formulations fonctionnelles, à faible teneur en sucre et en alcool a considérablement accru la complexité analytique requise pour le contrôle qualité industriel. Les méthodes officielles traditionnelles, telles que la CLHP et la chromatographie en phase gazeuse, bien que constituant la référence réglementaire, sont souvent longues et coûteuses pour le contrôle de routine. Cette étude présente une caractérisation analytique avancée réalisée sur un panel hétérogène de boissons commerciales (incluant boissons énergisantes, sodas aux agrumes, colas artisanaux et apéritifs à base de vin) à l'aide du système enzymatique photométrique CDR DrinkLab. L'objectif était d'évaluer un flux de travail simplifié pour la détermination de paramètres critiques tels que la caféine, l'alcool, les sucres et le profil acidométrique. Les résultats démontrent l'efficacité de la méthode pour quantifier avec précision la caféine dans des matrices complexes (plage de détection: 65 à 249 mg/L) et pour détecter des traces d'alcool avec une sensibilité allant jusqu'à 0.002 % vol., ce qui est essentiel pour garantir la stabilité microbiologique des produits non alcoolisés. De plus, la caractérisation différentielle des acides (citrique et phosphorique) a permis d'obtenir des profils chimiques conformes aux attentes en matière de propriétés sensorielles et de stabilité. En conclusion, l'approche photométrique s'avère une alternative opérationnelle valable aux méthodes traditionnelles, offrant une mise en œuvre rapide et une manipulation des échantillons réduite, contribuant ainsi efficacement à la conformité réglementaire et à la gestion de la durée de conservation.

1. Introduction: Le contexte du marché et l'évolution du secteur

Les boissons gazeuses représentent aujourd'hui une catégorie vaste et hétérogène de boissons non alcoolisées, qui a considérablement évolué depuis les premiers mélanges historiques d'eau et de jus d'agrumes au XVIIe siècle.

Les formulations modernes sont technologiquement sophistiquées et sont généralement produites à partir d'eau minérale avec l'ajout d'un ou plusieurs des composants suivants:

- monosaccharides et disaccharides ou édulcorants intenses
- acidifiants et régulateurs d'acidité, principalement l'acide citrique, l'acide phosphorique et l'acide malique
- arômes naturels ou identiques à la nature
- extraits botaniques, jus de fruits ou purées
- dioxyde de carbone
- Ingrédients fonctionnels autorisés tels que la caféine jusqu'à 320 mg/L, la taurine, les vitamines
- teneur résiduelle ou ajoutée intentionnellement en alcool inférieure à 1.2 % vol dans les boissons prêtes à consommer à faible teneur en alcool

Le marché connaît une profonde transformation.

Bien que la consommation par habitant en Italie (environ 50 L/an) soit inférieure à la moyenne européenne (95 L/an en 2023), on observe un recul des produits traditionnels riches en sucre au profit de segments en croissance tels que les boissons *premium*, *artisanales*, allégées en sucre et fonctionnelles (boissons énergisantes, apéritifs sans alcool). À l'échelle mondiale, la demande s'oriente vers des produits à la composition transparente *et aux ingrédients naturels*. Dans ce contexte concurrentiel, le contrôle analytique devient une nécessité stratégique, non seulement pour la conformité réglementaire, mais aussi pour garantir la constance des formulations et la stabilité *de la durée de conservation*.

2. Le défi analytique: paramètres et méthodologies critiques

La caractérisation chimique des boissons non alcoolisées est essentielle pour garantir la conformité réglementaire, la sécurité des produits et une qualité organoleptique constante. Compte tenu de l'extrême hétérogénéité de cette catégorie, les méthodes analytiques doivent être soigneusement sélectionnées et adaptées à chaque paramètre, en tenant compte à la fois de son rôle technologique et de son impact sensoriel.

• **Caféine et ingrédients fonctionnels:** ce segment est strictement réglementé; en Europe, les concentrations de caféine supérieures à 150 mg/L nécessitent un étiquetage spécifique.

• **Alcool et marqueurs de fermentation:** Dans les produits *faiblement alcoolisés* (< 1.2 % vol.) et sans alcool, la teneur en alcool est cruciale. Même des taux minimaux (< 0.5 % vol.) peuvent indiquer une fermentation indésirable, ce qui affecte le profil aromatique et la classification légale. Parallèlement, l'acide lactique (D et L) sert de marqueur de contamination bactérienne et d'altération du produit.

• **Profil d'acidité et de sucre:** Le pH (généralement entre 2.5 et 4.0) et le profil d'acidité (citrique, malique, phosphorique) influencent directement la stabilité microbiologique et la saveur. De même, le contrôle du glucose, du fructose et du saccharose est essentiel pour déterminer le pouvoir sucrant et prévenir les fermentations secondaires.

3. L'étude: sélection des échantillons et flux de travail analytique

Pour évaluer l'applicabilité des méthodes rapides dans ce contexte complexe, une étude a été menée sur un panel représentatif de boissons du marché italien.

Description du panel d'échantillons

Des échantillons appartenant à différentes catégories de produits ont été sélectionnés:

- **Échantillons A et B:** Boissons à base de café à forte teneur en caféine.
- **Échantillons C, D, H:** Boissons alcoolisées à base de vin gazeux (y compris les cocktails spritz).
- **Échantillons E et I:** Sodas aux agrumes (orange et mandarine).
- **Échantillon F:** Cola artisanal classique.
- **Échantillon G:** Apéritif gazeux sans alcool.

Méthodologie analytique

Les analyses ont été réalisées à l'aide du système [CDR DrinkLab](#). Les méthodes utilisées reposent sur des réactifs enzymatiques pré-calibrés qui nécessitent des microvolumes d'échantillon. Le prétraitement s'est limité à un simple dégazage de l'échantillon, rendant ainsi le flux de travail adapté aux environnements de contrôle qualité industriels.

4. Résultats et discussion

L'analyse a démontré la capacité du système à caractériser des matrices complexes en un temps réduit et avec une préparation minimale.

Les principaux résultats tirés des données expérimentales sont présentés ci-dessous.

Type d'échantillon	Caféine (mg/L)	Alcool (% vol)	Acidité totale (g/L d'acide citrique)	Acide citrique (g/L)	Sucres (g/L)	pH	Acide phosphorique (mg/L)
A - Boisson caféinée	249	< 0.002	-	-	-	-	-
B - Boisson caféinée	118	< 0.002	-	-	-	-	-
C - Boisson alcoolisée gazeuse	< 10	8.3	-	-	-	-	-
D - Boisson alcoolisée gazeuse	< 10	8.4	-	-	-	-	-
E - Soda à l'orange	< 10	< 0.002	4.6	3.3	118	3.49	< 10
F-Cola	65	< 0.002	-	-	105	-	886
G - Apéritif sans alcool	< 10	9.5	-	-	-	-	-
H - Spritz cocktail à la fraise	< 10	7.2	-	-	-	-	-
I - Soda à la mandarine	< 10	< 0.002	6.9	6.3	146	3.58	< 10

Quantification de la caféine. Il a été démontré que la détermination de la caféine est fiable, quelle que soit la coloration ou la complexité de la matrice.

- Dans l'échantillon A (boisson au café), une concentration de **249 mg/L** a été détectée, confirmant la capacité de la méthode à quantifier avec précision les doses élevées typiques des boissons énergisantes et des formulations spéciales.
- Dans l'échantillon F (Cola), la valeur détectée était de **65 mg/L**, ce qui correspond aux formulations standard de cette catégorie.

Sensibilité et stabilité à l'alcool: face à l'essor des boissons à faible teneur en alcool ou sans alcool, la sensibilité analytique était cruciale. La méthode a permis de quantifier l'alcool jusqu'à **0.002 % vol.** en une dizaine de minutes.

- Les échantillons non alcoolisés (A, B, E, F, I) ont montré des valeurs < 0.002 % vol, confirmant l'absence de fermentation en cours.
- Les échantillons à base de vin (C, D, G, H) ont montré des valeurs comprises entre 7.2 % et 9.5 % vol, démontrant la polyvalence du système sur différentes plages de concentration.

Profil acide et pH L'étude a mis en évidence une différenciation marquée dans les profils acidimétriques, corrélant la composition chimique à la stabilité du produit.

- **Cola (Échantillon F): La présence exclusive d'acide phosphorique (886 mg/L)** a été détectée, conforme à son utilisation habituelle en tant qu'agent acidifiant principal dans cette catégorie de boissons..
- **Sodas aux agrumes (Échantillons E, I):** Ils ont montré une acidité dominée par l'acide citrique (**3.3 g/L et 6.3 g/L respectivement**) et un pH faible (plage **3.49-3.58**), conforme aux exigences de stabilité microbiologique et de fraîcheur sensorielle.

5. Analyse comparative: Méthodes officielles vs. CDR DrinkLab

Bien que les techniques chromatographiques (HPLC, GC) constituent la *référence réglementaire*, leur mise en œuvre dans le cadre du contrôle qualité de routine présente des limitations opérationnelles importantes en termes de coût et de temps. Une comparaison directe entre les méthodes de référence et le système CDR DrinkLab met en évidence la meilleure adéquation de l'approche photométrique aux exigences d'une surveillance fréquente sur site.

Pour le **dosage de la caféine**, la méthode HPLC officielle requiert un appareillage coûteux, un personnel hautement spécialisé et des temps d'analyse chromatographique longs ; à l'inverse, la méthode photométrique permet une quantification rapide sans utilisation de solvants toxiques, rendant l'analyse accessible même aux opérateurs non spécialisés. De même, pour le **dosage de la teneur en alcool** et **en sucres**, alors que les méthodes classiques (distillation, chromatographie en phase gazeuse, HPLC-RI) impliquent des procédures laborieuses, le système testé offre des résultats comparables en une dizaine de minutes, la préparation de l'échantillon se limitant à un simple dégazage.

Vous trouverez ci-dessous un tableau récapitulatif comparant les avantages opérationnels du système CDR DrinkLab aux méthodes analytiques traditionnelles:

	Méthode de référence (officielle)	Questions critiques Méthode officielle	Approche CDR DrinkLab	Avantages opérationnels du CDR
Caféine	HPLC (Chromatographie Liquide)	Coûts d'instrumentation élevés, personnel spécialisé, délais longs.	Photométrique	Analyse rapide, sans étalonnage complexe, utilisation en ligne.
Alcool (% vol)	Distillation / Chromatographie en phase gazeuse (GC)	Procédure complexe, longs délais pour une seule analyse.	Photométrique Enzymatique	Résultat en 10 min, sensibilité jusqu'à 0.002 % vol, idéal pour les boissons à faible teneur en alcool.
Sucres	HPLC avec détecteur d'indice de réfraction	Coût élevé, maintenance fréquente, temps d'équilibrage des colonnes.	Photométrique Enzymatique	Quantification rapide du glucose, fructose et saccharose pour le contrôle de la fermentation.
Flux de travail	Préparation classique des échantillons	Filtrations complexes, extractions par solvant, volumes importants requis.	Microméthode	Dégazage simple, volumes de micro-échantillons, réactifs pré-conditionnés.

6. Conclusions

Les résultats analytiques obtenus dans cette étude confirment l'importance d'une approche globale et flexible du contrôle qualité dans l'industrie

moderne des boissons non alcoolisées et des boissons prêtes à consommer. La grande variété de formulations, allant des boissons à forte teneur en caféine aux boissons gazeuses aux agrumes en passant par les produits à faible teneur en alcool ou sans alcool, exige des méthodes analytiques rapides, sensibles et fiables.

Le CDR DrinkLab s'est avéré adapté à la détermination de paramètres clés tels que la caféine, la teneur en alcool, le profil acidimétrique (**acide citrique**, **acide phosphorique**), les sucres et **le pH**, avec une préparation d'échantillon minimale et des temps d'analyse courts.

Cette approche favorise la surveillance de routine, la conformité réglementaire et l'évaluation de la stabilité des produits, permettant ainsi aux fabricants de maintenir une qualité constante et de répondre efficacement aux besoins changeants du marché des boissons gazeuses.

Références :

Emmins , D. (2025). The History of Soft Drinks. Everything Everywhere. Available on :

<https://everything-everywhere.com/the-history-of-soft-drinks/>

UNESDA. (2024). Soft drink consumption per capita EU 2010–2023. Statista. Available at:

<https://www.statista.com/statistics/620186/soft-drink-consumption-in-the-european-union-per-capita/>

Food Research Lab. (2025). Difference in FDA and EU Caffeine regulations in energy drinks. Food Research Lab. Available at :

<https://www.foodresearchlab.com/insights/regulation-updates/fda-and-eu-regulations-on-caffeine-recommendations-in-energy-drinks/>

Naegele, E. (2011). Determination of Caffeine in Coffee Products According to DIN 20481. Agilent Technologies. Available at :

<https://www.agilent.com/cs/library/applications/5991-2851EN.pdf>

Food Compliance International. (2025). Low and no alcohol beer in the EU: status and legal challenges.

Food Compliance International. Available at:

<https://foodcomplianceinternational.com/industry-insight/scholarly-articles/3255-low-and-no-alcohol-beer-in-the-eu-status-and-legal-challenges>